

# **BOTÂNICA NA AMÉRICA LATINA: CONHECIMENTO, INTERAÇÃO E DIFUSÃO**

---



**CONGRESSO  
LATINOAMERICANO DE  
BOTÂNICA  
LXV CONGRESSO NACIONAL  
DE BOTÂNICA  
XXXIV ERBOT - MG, BA, ES**

---

TÂNIA REGINA DOS SANTOS SILVA  
CARLOS WALLACE DO NASCIMENTO MOURA  
LUCIENE CRISTINA LIMA E LIMA  
FRANCISCO DE ASSIS RIBEIRO DOS SANTOS

**ORGANIZADORES**





# **BOTÂNICA NA AMÉRICA LATINA: CONHECIMENTO, INTERAÇÃO E DIFUSÃO**

---



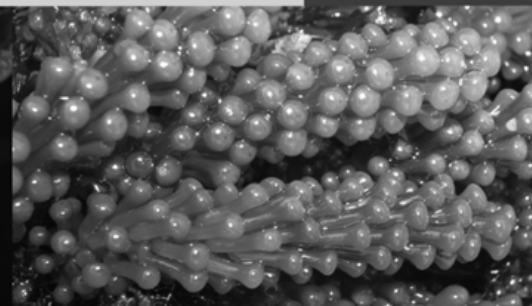
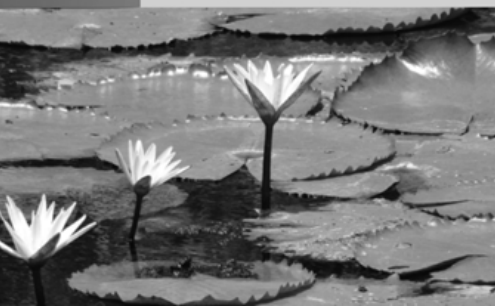
## **CONGRESSO LATINOAMERICANO DE BOTÂNICA LXV CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA XXXIV ERBOT - MG, BA, ES**

---

TÂNIA REGINA DOS SANTOS SILVA  
CARLOS WALLACE DO NASCIMENTO MOURA  
LUCIENE CRISTINA LIMA E LIMA  
FRANCISCO DE ASSIS RIBEIRO DOS SANTOS  
**ORGANIZADORES**

---

**1ª EDIÇÃO**





## ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE BOTÂNICA (ALB)

### Diretoria

#### Presidente

Ana Maria Giuliotti Harley

#### Vice-Presidente

Tania Regina Santos Silva

#### Tesoureira

Daniela Santos Carneiro Torres

#### 1ª Secretária

Milene da Silva Castro

#### 2ª Secretária

Guadalupe E. Licon de Macedo

#### Secretário Executivo

Enrique Forero

#### Conselho Superior

Ana H. Ladio

Maria das Graças Lapa Wanderley

Monica Palácios-Rios

Alina Freire-Fierro

Asunción A. Cano Echevarria

Alejandro Palmarola Bejerano

Nanuza Luiza de Menezes

Carlos Alberto Agudelo Henao



## SOCIEDADE BOTÂNICA DO BRASIL (SBB)

### Diretoria

#### Presidente

Renata Maria Strozi Alves Meira

#### 1ª Vice-Presidente

Ariane Luna Peixoto

#### 2ª Vice-Presidente

Marcus Alberto Nadruz Coelho

#### 1ª Secretária

Andrea Pereira Luizi-Ponzo

#### 2ª Secretária

Vânia Gonçalves Lourenço Esteves

#### 1º Tesoureiro

João Augusto Alves Meira Neto

#### 2ª Tesoureira

Luzimar Campos Silva

#### Secretária Geral

Micheline Carvalho Silva

#### Secretário Adjunto

Paulo Eduardo Aguiar Saraiva Câmara

#### Conselho Superior

##### – Membros Titulares

Denise Maria Trombert de Oliveira

Kátia Cavalcanti Pôrto

Maria de Lourdes da Costa Soares

Jorge Ernesto de Araújo Mariath

Geraldo Alves Damasceno Jr.

##### Conselho Superior

##### – Membros Suplentes

Antonio Carlos Webber

Gardene Maria de Souza

Luiz Antônio de Souza

Paulo Takeo Sano

Arnildo Pott

## XI CLABOT, LXV CNBOT & XXXIV ERBOT

### Comissão Organizadora

#### Presidente

Tânia Regina dos Santos Silva (UEFS)

#### Vice-Presidente

Carlos Wallace do Nascimento Moura (UEFS)

#### 1ª Secretária

Milene Maria da Silva Castro (UESB)

#### 2ª Secretária

Nara Katary dos Reis Souza (UFRB)

#### 1ª Tesoureiro

Daniela Santos Carneiro-Torres (UEFS)

#### 2º Tesoureiro

Paulino Pereira de Oliveira (UEFS)

#### Comitê de Programação Científica

Francisco de Assis Ribeiro dos Santos (UEFS)

Luciene Cristina Lima e Lima (UNEB)

#### Comissão Científica

Silvana B. Vilas Bôas-Bastos (UEFS)

Maria José Gomes Andrade (UNEB)

Cid José Passos Bastos (UFBA)

Mércia Patrícia Pereira Silva (UFBA)

#### Logomarca

Carlos Wallace do Nascimento Moura

#### Identidade Visual do Evento

StudioR Comunicação

#### Diagramação e Arte Final “Anais XI CLABOT, LXV CNBOT & XXXIV ERBOT”

Ericson Peres

ericsonperes@yahoo.com.br | [51]

8143.8778 - 8615.3593

### Ficha catalográfica: Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

C759 Congresso Latinoamericano de Botânica (11.: 2014: Salvador, BA)  
XI Congresso Latinoamericano de Botânica: [arquivo legível por maquina]: Botânica na America Latina: conhecimento, interação e difusão. LXV Congresso Nacional de Botânica [e] XXXIV ERBOT MG, BA, ES / organizadores: Tânia Regina dos Santos Silva ... [et al.]. – Salvador: Sociedade Botânica do Brasil, 2014.  
1 arquivo de texto (604 p.) : il.

ISBN: 978-85-60428-09-0

Botânica – Congressos. 2. Fisiologia vegetal – Congressos. 3. Morfologia vegetal – Congressos. Ecologia – Congressos. I. Silva, Tânia Regina dos Santos. II. Congresso Nacional de Botânica (65.: 2014: Salvador, BA). III. Encontro Regional de Botânicos (34.:2014: Salvador, BA). IV. Título.

CDU 581

# APRESENTAÇÃO

Mais uma vez pesquisadores de várias partes do mundo se reúnem para em conjunto promoverem uma profunda discussão sobre a *Scientia Amabilis*, a Botânica, em todas as suas áreas, subáreas e especialidades. Desta vez o encontro dar-se-á em Salvador (Bahia, Brasil), no **XI Congresso Latinoamericano de Botânica**, realizado conjuntamente com o LXV Congresso Nacional de Botânica e o XXXIV Encontro Regional de Botânicos. Esses eventos ocorrem sob os auspícios da *Asociación Latinoamericana de Botánica* e da Sociedade Botânica do Brasil.

Os participantes deste conagraçamento botânico farão a apresentação de seus mais novos achados e interpretações científicas em todas as áreas. Muitos dos participantes irão proferir palestras nos simpósios e mesas versando sob os temas mais variados. Neste *e-book*, há textos completos e resumos de algumas dessas palestras reunidos em três partes. Na **Parte 1**, há uma amostra das palestras magistrais (4) que ocorrerão durante os dias do evento. As palestras dos simpósios (17) têm seus textos e resumos reunidos na **Parte 2**. Os textos e resumos das palestras das mesas (9) estão na **Parte 3**.

Este *e-book* servirá a todos na sua lida diária na botânica e especialmente aos estudantes que estão a iniciar sua vida científica como neo-botânicos. Alguns desses novos pesquisadores, recém mestres e doutores, terão a oportunidade de fazer a apresentação de seus mais recentes estudos na Pós-Graduação em vários países. Será uma pequena amostra da geração futura de botânicos, cujos estudos se integram numa rede de Ciência, a *Botânica Integrativa*. A formação desses novos botânicos acontece com a supervisão de muitos orientadores (marcados com um asterisco nos textos ente as páginas 105 e 161), que são pesquisadores mais experientes e que além de deixarem seu legado científico à Botânica, terão a continuidade de suas pesquisas, e outras futuras, alicerçadas por esses discípulos em seus laboratórios, escolas e universidades mundo a fora.

Esse **XI Congresso Latinoamericano de Botânica** será um importante balizador para as pesquisas, para o ensino botânico e para o estabelecimento de parcerias e futuros projetos.

Por fim, agradecemos a todos os colaboradores, às instituições governamentais e não-governamentais que direta ou indiretamente viabilizaram a realização deste evento e a publicação deste *e-book*. A colaboração de todos possibilitou a realização de mais um congresso de Botânica na Bahia.

Esperamos que às margens da baía de Todos os Santos e sob as proteções dos Orixás baianos, todos sejam acolhidos e tenham suas expectativas atendidas durante o Congresso.

**Os Organizadores**



# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	5
--------------------	---

## ▶ PARTE 1 ◀

LA SISTEMÁTICA BIOLÓGICA DE NUESTRO TIEMPO: BIODIVERSIDAD, MOLECULAS, FACTOR DE IMPACTO Y EDUCACION	
---	--

<b>Jorge V. Crisci</b> .....	21
------------------------------	----

EVOLUCIÓN DEL PAISAJE LATINOAMERICANO DURANTE LOS ÚLTIMOS 120 MILLONES DE AÑOS	
--	--

<b>Carlos Jaramillo</b> .....	22
-------------------------------	----

MANEJO Y DOMESTICACIÓN DE PLANTAS EN MESOAMÉRICA	
--	--

<b>Alejandro Casas, José Blancas, Adrana Otero-Arnaiz, Jeniffer Cruse-Sanders, Ana Isabel Moreno, Andrés Camou, Fabiola Parra, Susana Guillén, Mariana Vallejo, Ignacio Torres, América Delgado, Selene Rangel</b> .....	23
--	----

INVESTIGANDO PADRÕES E PROCESSOS GERADORES DA EXTRAORDINÁRIA DIVERSIDADE DA FLORA NEOTROPICAL, COM ÊNFASE NA AMÉRICA DO SUL	
---	--

<b>José Rubens Pirani</b> .....	39
---------------------------------	----

## ▶ PARTE 2 ◀

MÉTODOS DE AMOSTRAGEM QUALI E QUANTITATIVOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS	
---	--

<b>Fernando Alves Ferreira, Vali Joana Pott &amp; Arnildo Pott</b> .....	45
--	----

ESTUDOS SISTEMÁTICOS EM NYMPHAEALES	
-------------------------------------	--

<b>Carla Teixeira de Lima</b> .....	55
-------------------------------------	----

GRAMÍNEAS ACUÁTICAS: GRUPOS TAXONÓMICOS, FORMAS DE CRECIMIENTO, MORFOLOGIA Y ADAPTACIONES AL AMBIENTE ACUÁTICO	
--	--

<b>Gabriel Hugo Rua</b> .....	60
-------------------------------	----

CONSERVAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NAS IPUEIRAS DA CAATINGA	
--	--

<b>Maria Jaciane de Almeida Campelo</b> .....	65
---	----

AQUATIC MACROPHYTES OF THE PANTANAL, BRAZIL	
---	--

<b>Vali Joana Pott, Arnildo Pott, Fernando Alves Ferreira &amp; Ana Carolina Vitória Arantes</b> .....	75
--	----

BREVE RESEÑA DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS DE LA ORINOQUIA	
---	--

<b>Anabel Rial B.</b> .....	82
-----------------------------	----

ORIGIN OF ASTERACEAE IN SOUTH AMERICA

Liliana Katinas, Jorge Víctor Crisci and María José Apodaca ..... 89

PATTERNS OF EVOLUTION IN PACIFIC COMPOSITAE (ASTERACEAE)

Vicki A. Funk..... 97

PHYLOGENY AND DIVERGENCE TIME ESTIMATES OF TRANS-PACIFIC *LAGENOPHORA* CASS. (ASTEREAE, ASTERACEAE)

Gisela Sancho, Peter de Lange, Mariano Donato, John Barkla and Steven J. Wagstaff ..... 98

SYSTEMATICS OF *BACCHARIS* (ASTERACEAE: ASTEREAE)

Gustavo Heiden & José Rubens Pirani ..... 99

PHYLOGENY OF *ALDAMA* (HELIANTHEAE: HELIANTHAE) BASED ON MULTI-LOCUS NUCLEAR DATA

Benoît Francis Patrice Loeuille..... 100

FILOGENIA E PADRÕES BIOGEOGRÁFICOS DE *BIONIA* MART. EX BENTH. (PAPILIONOIDEAE: PHASEOLEAE – DIOCLEINAE)

Adelina Vitoria Ferreira Lima & Luciano Paganucci de Queiroz ..... 101

EFEITO INDUZIDO PELO VÍRUS Y DA BATATA (*POTATO VIRUS Y*) NO METABOLISMO SECUNDÁRIO DO CAMAPU (*PHYSALIS ANGULATA* L.)

Alice Nagai, Déborah Y. Alves Cursino dos Santos, Lígia M. Lembo Duarte & Alexandre L. Rodrigues Chaves ..... 102

DISENTANGLING THE LIANAS: SYSTEMATICS AND EVOLUTION OF TRIBE MERREMIEAE (CONVOLVULACEAE)

Ana Rita Simões, Alastair Culham, George Staples & Mark Carine..... 104

TAXONOMIA E FILOGENIA DE *POUTERIA* AUBL. (SAPOTACEAE) NA MATA ATLÂNTICA SETENTRIONAL

Anderson Alves-Araújo & Marccus Alves ..... 106

FLORA DA BAHIA: BEGONIACEAE

Bernarda de Souza Gregório, Jorge Antonio Silva Costa & Alessandro Rapini ..... 107

INTERAÇÕES ECOLÓGICAS MEDIADAS POR NECTÁRIOS EXTRAFLORAIS EM ESPÉCIES DE *CHAMAECRISTA* MOENCH E *SENNA* MILL., EM ÁREAS DE CAATINGA

Carlos Henrique Félix da Silva & Luciene Cristina Lima Lima..... 108

DISPERSIÓN DEL PROTONEMA DE MUSGOS POR EL AGUA, EL VIENTO, Y UN ANIMAL

Carlos J. Pasiche Lisboa & Inés Sastre-De Jesús ..... 109

ANÁLISIS MORFOLÓGICO, PALINOLÓGICO Y SISTEMÁTICO DE LAS ISOETALES DEL CONO SUR DE AMÉRICA DEL SUR

Cecilia Macluf, Marta Morbelli & Gabriela Giudice ..... 110

DIVERSIDAD, BIOGEOGRAFÍA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA BROMELIACEAE EN PANAMÁ Y COSTA RICA

Daniel Adolfo Cáceres González & Georg Zizka ..... 112



ASPECTOS ETNOBOTÂNICOS Y ECONÓMICOS DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *DIOSCOREA*  
RECOLECTADAS EN CUNDINAMARCA (COLOMBIA)

**Darío Pérez & Lauren Raz** ..... 114

ANALISE DO POTENCIAL PRODUTIVO DE OURICURI [*SYAGRUS CORONATA* (MARTIUS) BECCARI] NO SEMIARIDO ALAGOANO

**Edmilson Genuíno Santos Junior & Flávia de Barros Prado Moura**..... 116

QUAL A INFLUÊNCIA DO PULSO DE INUNDAÇÃO E SEUS PREDITORES LIMNOLÓGICOS SOBRE A RIQUEZA, FLORA E BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DE RESERVATÓRIO TROPICAIS?

**Edson Gomes de Moura-Júnior, William Severi & Carmen Silvia Zickel**..... 118

ESTUDIOS DE LA MORFO-ANATOMÍA, LA ESPOROGÉNESIS Y GAMETOGÉNESIS EN FLORES DE ESPECIES SELECTAS DE MALVACEAE-GREWIOIDEAE

**Elsa Clorinda Lattar, María Silvia Ferrucci & Beatriz Gloria Galati**..... 120

EUPHORBIACEAE NA SERRA GERAL DE LICÍNIO DE ALMEIDA, BAHIA, BRASIL

**Fernanda Hurbath Pita Brandão, Daniela Santos Carneiro Torres & Nádia Roque**..... 122

CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS DE TRÊS ESPÉCIES NEOTROPICAIS DE PODOSTEMACEAE E SUAS IMPLICAÇÕES FILOGENÉTICAS

**Inara Carolina da Silva, Cristiana Koschnitzke & Claudia Petean Bove**..... 124

ANNONACEAE DA RESERVA NATURAL VALE, LINHARES, ESPÍRITO SANTO

**Janifer de Carvalho Lopes & Renato de Mello-Silva**..... 126

A VEGETAÇÃO LENHOSA SOBRE SOLOS QUARTZÍTICOS NA SERRA NEGRA (RIO PRETO, MG): ESTRUTURA, DIVERSIDADE E GRADIENTES AMBIENTAIS

**José Hugo Campos Ribeiro & Fabrício Alvim Carvalho**..... 127

REVISÃO DE *BRADDEA* (STANDL.): UM GÊNERO NEGLIGENCIADO DOS AFLORAMENTOS ROCHOSOS DA FLORESTA ATLÂNTICA, BRASIL

**Juliana Amaral de Oliveira, Jomar Gomes Jardim & Rafaela Campostrini Forzza** ..... 129

ANATOMIA DO LENHO DE ESPÉCIES DE *STRYPHNODENDRON* MART. (LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE): UM GÊNERO TÍPICAMENTE BRASILEIRO

**Kelly Cristina Moreira dos Santos & Cátia Henriques Callado** ..... 131

FILOGENIA E CITOTAXONOMIA DO CLADO *STENORRHYNCHOS* (SPIRANTHINAE, CRANICHIDINAE, ORCHIDOIDEAE, ORCHIDACEAE)

**Leonardo Ramos Seixas Guimarães, Fábio de Barros & Gerardo A. Salazar** ..... 133

SÍNTESE FLORÍSTICA E BIOGEOGRÁFICA DO DOMÍNIO FITOGEOGRÁFICO DA CAATINGA

**Marcelo Freire Moro & Fernando Roberto Martins** ..... 134

COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO LENHOSA DE SAVANAS SOBRE AFLORAMENTOS ROCHOSOS NA TRANSIÇÃO CERRADO - AMAZÔNIA, MATO GROSSO

**Marcos José Gomes Pessoa, Eddie Lenza de Oliveira & Ivone Viera da Silva**..... 136

MORFOANATOMIA FOLIAR DE CHRYSOBALANACEAE R. BR. DA RESERVA FLORESTAL ADOLPHO DUCKE, MANAUS – AM, BRASIL

**Marcos Melo Corrêa, Maria Gracimar Pacheco de Araújo & Veridiana Vizoni Scudeller ..... 138**

BIOSYSTEMATICS STUDIES IN *PIRESIA* SWALLEN (POACEAE: BAMBUSOIDEAE: OLYREAE)

**Maria Luiza Silveira de Carvalho, Alessandra Selbach Schnadelbach & Reyjane Patricia de Oliveira ..... 140**

SISTEMA REPRODUTIVO E LIMITAÇÃO POLÍNICA EM PLANTAS DA FLORESTA ATLÂNTICA COM ÊNFASE EM POLINIZAÇÃO POR BEIJA-FLORES

**Marina Wolowski & Leandro Freitas..... 141**

MORFOANATOMIA, HISTOQUÍMICA E ULTRAESTRUTURA FLORAL DE ESPÉCIES DE ANNONACEAE DO CERRADO

**Natália A. Galastri, Élder A. Sousa Paiva, Fernando A. Oliveira Silveira, Denise M. Trombert Oliveira..... 143**

REDUÇÃO DO NÚMERO DE FOLÍOLOS A PARTIR DE UM ANCESTRAL COM FOLHAS COMPOSTAS: MORFOGÊNESE FOLIAR EM *METRODOREA* A. ST.-HILL. E ESPÉCIES RELACIONADAS (RUTACEAE)

**Rafael da Silva Cruz, Marília Beirão Henriques Duarte, José Rubens Pirani & Gladys Flavia de Albuquerque Melo de Pinna ..... 145**

FLORAL AND VEGETATIVE MORPHOMETRICS OF THREE *PLATONIA INSIGNIS* MART. (CLUSIACEAE) POPULATIONS, A NATIVE TREE FROM THE BRAZILIAN AMAZON

**Raysa Valéria Carvalho Saraiva, Emília Cristina Girnos & Patrícia Maia Correia de Albuquerque ..... 147**

ANÁLISE PALINOLÓGICA DO PÓLEN APÍCOLA PRODUZIDO NO ESTADO DE SERGIPE, BRASIL

**Rodolfo de França Alves & Francisco de Assis Ribeiro dos Santos ..... 149**

ESTRUTURA, DIVERSIDAD Y DIFERENCIACIÓN GENÉTICA DE PSEUDOPHOENIX (ARECACEAE) EN LA HISPANIOLA

**Rosa Rodríguez & Javier Francisco-Ortega..... 151**

FLORAL REWARDS, PHYLOGENY AND EVOLUTION OF THE SPECIES OF TIGRIDIEAE (IRIDOIDEAE: IRIDACEAE)

**Tamara Pastori, Lilian Eggers, Olivier Chauveau & Tatiana Teixeira de Souza-Chies ..... 152**

ESTRUTURA E DIVERSIDADE GENÉTICA DO GÊNERO *ANADENANTHERA* SPEG. (LEGUMINOSAE – MIMOSOIDEAE) ESTIMADAS COM MARCADORES MICROSSÁTELITES

**Thamyres Cardoso da Silveira & Luiz Orlando de Oliveira ..... 154**

O GÊNERO *SOLANUM* L. (SOLANACEAE) NA FLORESTA ATLÂNTICA AO NORTE DO RIO SÃO FRANCISCO

**Valéria da Silva Sampaio & Maria de Fátima Agra..... 155**

ESTUDOS ECOLÓGICOS E EVOLUTIVOS EM MYRTACEAE COM ÊNFASE NOS PADRÕES FENOLÓGICOS, DE DISTRIBUIÇÃO E DIVERSIDADE

**Vanessa Grazielle Staggemeier, Eve Lucas e José Alexandre Felizola Diniz-Filho ..... 156**

ASTERACEAE – FLORA E SIMILARIDADE NA ECORREGIÃO RASO DA CATARINA, BAHIA, BRASIL

**Vivian Oliveira Amorim & Hortensia Pousada Bautista** ..... 157

ISLAND BIOGEOGRAPHY REWRITTEN BY BRYOPHYTES

**Alain Vanderpoorten & Jairo Patiño** ..... 159

TRENDS IN NEOTROPICAL BRYOGEOGRAPHY

**Claudio Delgadillo Moya**..... 162

PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE BRIÓFITAS NA FLORESTA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL:  
RELAÇÕES AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO

**Mércia Patrícia Pereira Silva & Kátia Cavalcanti Pôrto** ..... 167

INSIGHTS SOBRE A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DA SUBFAMÍLIA METEORIOIDEAE (BRYOPHYTA, METEORACEAE)

**Juliana Rosa do Pará Marques de Oliveira & Kátia Cavalcanti Pôrto** ..... 174

CENOZOIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICAN BIOMES

**Carlos Jaramillo**..... 182

THE EVOLUTION AND FATE OF NEOTROPICAL BIOMES

**Alexandre Antonelli** ..... 184

EVOLUTION AND BIOGEOGRAPHY OF THE BIGNONIACEAE: INSIGHTS INTO THE ORIGIN OF THE  
NEOTROPICAL FLORA

**Lúcia G. Lohmann**..... 186

BIOGEOGRAPHIC PATTERNS AND CENOZOIC LEGACIES TO THE EVOLUTION OF THE SOUTHERN SOUTH  
AMERICAN FLORA

**Luis Felipe Hinojosa; Fernanda Pérez, Ricardo Segovia & Aurora Gaxiola** ..... 187

CENOZOIC UPLIFT OF THE ANDES AND ITS RELATIONSHIP WITH THE PALEOBOTANICAL EVOLUTION.  
WHAT DO WE KNOW AND WHAT DO WE NEED TO KNOW? THE VIEW OF A GEOLOGIST

**Andres Mora**..... 188

LONG-TERM INFLUENCE OF TECTONICS ON CLIMATE AND SPECIES EVOLUTION IN THE NEOTROPICS.  
WHERE DO WE GO?

**Pierre Sepulchre**..... 189

THE WARM PALEOGENE FLORAS, THE BEGINNING OF THE COOL TEMPERATE BIOME, AND THE  
DIVERSITY BACKGROUND IN SOUTHERN SOUTH AMERICA

**Ari Iglesias** ..... 190

ECOFISIOLOGÍA DE SEMILLAS DE PLANTAS TROPICALES: EL ACONDICIONAMIENTO MÁTRICO UNA  
HERRAMIENTA ÚTIL PARA GERMINAR ESPECIES NATIVAS, ÚTILES PARA LA RESTAURACIÓN Y  
CONSERVACIÓN DE ESPECIES

**Alma Orozco-Segovia, Ma. Esther Sánchez-Coronado, Jorge A. Martínez-Villegas, Luis V. Pedrero-López, Ángel Becerra  
Vázquez, Alejandra Rosete-Rodríguez & Humberto Peraza-Villarreal**..... 194

CONTROL DE LA FOTOSÍNTESIS EN ESPECIES XERÓFITAS DURANTE DÉFICIT HÍDRICO: ¿DIFUSIÓN O METABOLISMO?

**Wilmer Tezara..... 204**

ECOFISIOLOGÍA DE HELECHOS DEL BOSQUE NUBLADO

**Oscar Briones & Karolina Riaño..... 212**

A FOTOSSÍNTESE DE PLANTAS DE CERRADO E DE FLORESTA AMAZÔNICA MODULADA POR NITROGÊNIO E FÓSFORO FOLIAR

**Tomas Ferreira Domingues, Jon Lloyd, Patrick Meir, Guatavo Saiz & Ted Feldpaush..... 223**

FORMAR PROFESSORES E O ENSINO DE BOTÂNICA

**João Rodrigo Santos da Silva & Paulo Takeo Sano ..... 231**

O ENSINO DE BOTÂNICA: CONQUISTAS E DESAFIOS

**Leila Macias & Rita de Cássia M. Cóssio Rodriguez ..... 237**

TORNANDO A BOTÂNICA MENOS ASSUSTADORA: CURSOS DE ATUALIZAÇÃO PARA PROFESSORES DA EDUCAÇÃO BÁSICA

**Déborah Yara Alves Cursino dos Santos..... 243**

O ENSINO DE BOTÂNICA NO SUDOESTE DA BAHIA

**Guadalupe Edilma Licona de Macedo; Rogersia Moreira Santos & Sandreane Amaral de Oliveira ..... 246**

A FALTA QUE OS MÚSCULOS FAZEM...

**Miguel José Minhoto ..... 254**

MUERTE CELULAR PROGRAMADA EN EL DESARROLLO REPRODUCTIVO DE LAS PLANTAS

**María Paula López-Fernández & Sara Maldonado..... 259**

COMPARATIVE MORPHOLOGY OF BASAL ASTERACEAE

**Liliana Katinas, Marcelo Paulo Hernández and Ana María Arambarri ..... 271**

LOS SABERES BOTÁNICOS OCULTOS EN LA PLURI/MULTI/INTERCULTURALIDAD (ZONAS URBANAS DE ARGENTINA)

**María Lelia Pochettino y Cecilia Eyssartier ..... 277**

INVESTIGACIÓN-ACCIÓN Y EL MONITOREO PARTICIPATIVO COMO HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN Y CONSERVACIÓN COMUNITARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL: LA EXPERIENCIA DE COMBIOSERVE EN MÉXICO

**Luciana Porter-Bolland, Federico Escobar Sarria, Emma I. Villaseñor, Matthias Rös, Albert M. Chan Dzul, Sara Oliveros López e Alberto López Díaz ..... 285**

RETOS Y PERSPECTIVAS DEL MONITOREO PARTICIPATIVO CON COMUNIDADES TSIMANE' EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA Y TERRITORIO COMUNITARIO DE ORIGEN PILÓN LAJAS, BENI - BOLIVIA

**Susana Arrázola, Ximena Vélez-Liendo, Olga Ruiz, Thomas Huanca, Esther Conde, Dalia Huallata, Eligia Huallata, Virginia Saravia, Hector Saravia, Felipe Huallata, Fernando Sarabia, Julio Tayo, Luciana Porter, Federico Escobar & Fábio Pedro Souza de Ferreira Bandeira ..... 295**

REALIDADES Y RETOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS PRODUCTOS FORESTALES NO MADERABLES: ANÁLISIS DE CINCO ESTUDIOS DE CASO

**María Teresa Pulido Silva** ..... 304

ETNOBOTÁNICA HISTÓRICA NO BRASIL

**Luci de Senna-Valle & Maria Franco Trindade Medeiros** ..... 310

ETNOBOTÁNICA Y BIOCULTURA: NUEVOS RETOS

**Olga Lucía Sanabria Diago** ..... 317

1000 TRANSCRIPTOMES AND THE EVOLUTION KEY FEATURES IN THE RISE OF LAND PLANTS

**Dennis Stevenson**..... 323

CLASS III HD ZIP ANGIOSPERM LEAF GENES, THE HISTORY THAT FERNS AND LYCOPHYTES TELL: ANCESTRAL ROLE AND THEORIES OF LEAF EVOLUTION

**Alejandra Vasco, Tynisha Smalls, Robbin C. Moran, Dennis W. Stevenson and Barbara A. Ambrose**..... 324

GENE EXPRESSION ASSOCIATED WITH LEAF SHAPE DIVERSIFICATION OF TENDRILLED LEAVES IN BIGNONIEAE (BIGNONIACEAE)

**Mariane S. de Sousa-Baen and Lúcia G. Lohmann**..... 325

GENETIC BASIS OF THE EVOLUTION OF FLORAL TRAITS ASSOCIATED WITH POLLINATOR SHIFTS

**Javier Fuertes Aguilar & Maria Angélica Bello**..... 326

DEVELOPMENTAL PATTERNS AND CANDIDATE FLORAL ORGAN IDENTITY GENES IN THE HIGHLY SYNORGANIZED FLOWERS OF *ARISTOLOCHIA* (ARISTOLOCHIACEAE)

**Favio González and Natalia Pabón-Mora** ..... 327

FLORAL EVOLUTION IN PANDANALES WITH EMPHASIS IN TRIURIDACEAE

**Alma Piñeyro Nelson, Katya Frank Hoeflich, Esteban Martínez Salas, Eduardo Flores Sandoval, José Dávila Velderrain, Chelsea D. Specht and Elena R. Álvarez-Buylla**..... 328

TRANSCRIPTOME PROFILING AND FLOWER MORPHOLOGICAL EVOLUTION IN GINGERS

**Roxana Yockteng, Ana M. Almeida and Chelsea Specht** ..... 329

CO-OPTION OF THE POLARITY NETWORK SHAPES FILAMENT MORPHOLOGY IN THE ZINGIBERALES

**Ana Maria R. Almeida, Roxana B. Yockteng and Chelsea D. Specht**..... 330

EVOLUTION OF THE FLOWER AND FRUIT DEVELOPMENTAL NETWORKS IN BASAL VS. CORE EUDICOTS

**Natalia Pabón-Mora, Barbara Ambrose** ..... 331

FITOLITOS Y OTROS MICROFÓSILES EN ARQUEOLOGÍA: USOS Y COSTUMBRES

**Alejandra Korstanje** ..... 333

SILICOFITOLITOS, TAFONOMÍA Y BIOGEOQUÍMICA DEL SILICIO EN SECUENCIAS PEDOSEDIMENTARIAS DEL CENOZÓICO

**Margarita L. Osterrieth** ..... 339

SILICOFITOLITOS COMO INDICADORES PALEOAMBIENTALES: POTENCIALES, LIMITACIONES Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN EN ECOSISTEMAS DE PASTIZALES DEL SE DEL URUGUAY

Laura del Puerto, Hugo Inda, Roberto Bracco, Felipe García-Rodríguez e Irina Capdepon..... 347

FITOLITOS: PAUTAS PARA LA SISTEMATIZACIÓN DE COLECCIONES DE REFERENCIA

Alejandro Fabián Zucol ..... 357

UMA COLEÇÃO DE REFERÊNCIA DE FITÓLITOS (MUSEU NACIONAL, UFRJ) E SEU PAPEL NA PESQUISA ARQUEOBOTÂNICA

Jorge Mateus, Yann Paranagua & Rita Scheel-Ybert..... 369

ESTUDOS TAXONÔMICOS E COLEÇÕES DE REFERÊNCIAS DE FITÓLITOS NO BRASIL: DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Marcia Regina Calegari ..... 366

LA DENDROCRONOLOGÍA EN MÉXICO: SITUACIÓN ACTUAL, RETOS Y PERSPECTIVAS

José Villanueva Díaz, Julián Cerano Paredes & David W. Sathle..... 375

THE IMPACT OF THE HYDROELECTRIC POWER PLANT BALBINA ON TREE GROWTH OF *MACROLOBIUM ACACIIFOLIUM* (BENTH.) BENTH. (FABACEAE) IN THE FLOODPLAINS OF THE UATUMA RIVER (CENTRAL AMAZONIA) REVEALED BY DENDROCHRONOLOGICAL METHODS

Jochen Schongart; Cyro Assahira; Susan E. Trumbore; Bruno. B. L. Cintra; Eliane. S. Batista & Maria Teresa F. Piedade ..... 382

WORLDWIDE TRADE IN TIMBER PRODUCTS AND THE IDENTIFICATION CHALLENGE IT POSES

Peter Gasson ..... 384

ESTUDOS DENDROCRONOLÓGICOS ATUAIS NOS BIOMAS CAATINGA E CERRADO

Claudio Sergio Lisi & Ana Carolina Maioli Campos Barbosa..... 385

DENDROECOLOGÍA Y DENDROCLIMATOLOGÍA DE ÁRBOLES LONGEVOS EN AMÉRICA DEL SUR

Fidel A. Roig, Mario Tomazello Filho & José A. Boninsegna..... 386

ESTUDOS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO EM ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA NO SUL E SUDESTE DO BRASIL

Juliano Morales de Oliveira, Catia Henriques Callado & Paulo César Botosso ..... 387

LIANAS DO NOT HAVE WIDE VESSELS AND CLIMATE DOES NOT PREDICT VESSEL DIAMETER: VESSEL-STEM LENGTH SCALING ACROSS THE ANGIOSPERMS

Mark E. Olson, Tommaso Anfodillo, Julieta A. Rosell, Gaii Petit, Alan Crivellaro, Sandrine Isnard, Calixto León, Leonardo Alvarado and Matiss Castorena ..... 388

ECOLOGICAL WOOD ANATOMY OF *TOXICODENDRON ORIENTALE* GREENE (ANACARDIACEAE) IN AREAS OF RECENT VOLCANISM (KUNASHIR ISLAND, RUSSIA)

Anna V. Kopanina ..... 389

ANATOMIA ECOLÓGICA DA MADEIRA EM DIFERENTES BIOMAS BRASILEIROS

Claudia Franca Barros ..... 390

SOME FUNCTIONAL WOOD ANATOMY TRAITS REVISITED

Pieter Baas & Elisabeth Wheeler ..... 391

OS ESPOROS DAS BRIÓFITAS: SUA IMPORTÂNCIA FILOGENÉTICA

**Lucas Matheus da Rocha** ..... 392

NUEVOS HALLAZGOS SOBRE LA ULTRAESTRUCTURA DE LAS PAREDES DE LAS ESPORAS PRODUCIDAS POR LOS HELECHOS Y LICOFITAS

**Marta Alicia Morbelli** ..... 394

ULTRAESTRUCTURA DE LA EXINA DE *SCHLECHTENDALIA LUZULAEFOLIA* LESS. (ASTERACEAE, BARNADESIOIDEAE)

**María Cristina Telleria** ..... 401

MELISSOPALINOLOGIA: PODEMOS TIRAR PROVEITOS DE UMA CONTAMINAÇÃO

**Carlos Alfredo Lopes de Carvalho & Francisco de Assis Ribeiro dos Santos** ..... 402

AEROBIOLOGIA: A EXPERIÊNCIA DO SUL DO BRASIL

**Sandra Maria Vergamini** ..... 404

EVIDÊNCIAS PALINOLÓGICAS DE CONEXÕES ENTRE AMAZÔNIA E A CAATINGA NO QUATERNÁRIO TARDIO

**Paulo Eduardo de Oliveira** ..... 412

ARQUEOPALINOLOGÍA EN AMÉRICA DEL SUR

**Luis Huamán** ..... 415

POALES NEOTROPICAIS – FILOGENIA, MORFOLOGIA E SUAS IMPLICAÇÕES NA TAXONOMIA

**Ana Maria Giulietti, Marcelo Trovó, Vera Lucia Scatena, Maria José Gomes de Andrade, Thomas Stützel & Aline Oriani** ..... 429

POALES NEOTROPICAIS – AVANÇOS RECENTES NAS PESQUISAS

**Maria das Graças Lapa Wanderley, Ana Paula do Nascimento Prata, Leonardo M. Versieux & Livia Echternacht** ..... 436

BASAL ANGIOSPERMS AND BEETLE POLLINATION

**Gerhard Gottsberger and Ilse Silberbauer-Gottsberger** ..... 449

CONVERGENCE OF BEETLE AND THRIPS POLLINATION IN CYCADS

**Dawn Frame** ..... 459

EVALUATING FLOWER CHARACTERISTICS THAT REGULATE VISITATION OF POTENTIAL POLLINATORS: COMPARING BEETLE, BEE, BUTTERFLY AND FLY VISITATION

**Luísa G. Carvalheiro** ..... 460

PAPEL DE DISPERSORES/PREDADORES VERTEBRADOS E PARASITÓIDES NA TAXA DE PREDAÇÃO DE SEMENTES POR BESOUROS EM *SYAGRUS ROMANZOFFIANA* (CHAMISSO) GLASSMAN (ARECACEAE)

**João Vasconcellos-Neto, Janaina Rosa Cortinoz, Adriana Barnabé de Moraes & Danielle de Paula Maia** ..... 461

ESCARAVELHOS E AS SUAS FLORES NO CERRADO

**Hipólito Ferreira Paulino-Neto** ..... 462

BESOUROS EM FLORES DE MALPIGHIACEAE

**Helena Maura Torezan-Silingardi and Elenice Mouro Varanda** ..... 474

USO Y MANEJO DE RECURSOS GENÉTICOS EN PLANTAS MEDICINALES NATIVAS: ESPECIES MODELO CON INCLUSIÓN SOCIAL

Renée H. Fortunato, Paola A. Faroni, María J. Nores, Nicolás Nagahama, Hernán G. Bach, Carla M. Arizio, Viviana G. Spotorno & María M. Manifesto ..... 477

RECURSOS GENÉTICOS: RED DE BANCOS Y COLECCIONES DE GERMOPLASMA EN ARGENTINA

Andrea M. Clausen, Marcelo E. Ferrer, María B. Formica, Guadalupe Galíndez, María Del C. Sevillano e Beatriz Rosso .... 481

EMERGING TRENDS IN PLANT SYSTEMATICS AND BIOGEOGRAPHY

Lúcia G. Lohmann & Sandy Knapp..... 482

COLLABORATION AND DATA FOR ADVANCING UNDERSTANDING OF PLANT SYSTEMATIC

Sandra Knapp..... 483

WHAT IS THE FUTURE FOR BIOLOGICAL NOMENCLATURE?

Nicholas Turland..... 484

THE IMPACT OF POLYPLOIDY, HYBRIDIZATION, AND GENOMICS TO PLANT SYSTEMATIC

Karol Marhold ..... 485

THE FUTURE OF PLANT SYSTEMATICS AND TROPICAL BIODIVERSITY

Sebsebe Demissew ..... 486

AN OVERVIEW OF PLANT PHYLOGEOGRAPHY: EMERGING TRENDS AND NEW APPROACHES

Gonzalo Nieto Feliner ..... 487

A FUNCTIONAL TRAIT PERSPECTIVE TO PLANT BIOGEOGRAPHY

Lynn G. Clark..... 488

THE ASSEMBLY AND EVOLUTION OF THE NEOTROPICAL FLORA: AN INTEGRATIVE APPROACH

Lúcia G. Lohmann..... 489

FUTURE TRENDS IN BIOGEOGRAPHY

Vicki A. Funk..... 490

POPULATION GENETICS AND CONSERVATION IN *SINNINGIA SPECIOSA* (LODD.) HIERN (GESNERIACEAE)

David Zaitlin and Aureliano Bombarely Gomez..... 491

► PARTE 1 ◀

ESTUDOS MACRO E MICROEVOLUTIVOS EM *PHILODENDRON* (ARACEAE) E SUAS IMPLICAÇÕES NA TAXONOMIA E CONSERVAÇÃO DAS ESPÉCIES DO GÊNERO

Cássia Mônica Sakuragui, Letícia Loss de Oliveira, Luana Brauck Calazans, Carlos Guerra Schrago, Antônio Sole Cava e Anderson Villas Boas ..... 507

MORPHOMETRICS IN THE ARACEAE: PAST AND PRESENT

Simon J. Mayo, Ivanilza M. Andrade, M. Francilene S. Silva, Tiago A. Pontes, M.L.C. Soares, Lívia G. Temponi e Ana Paula Cardozo ..... 513



A ANATOMIA E ONTOGENIA DOS ÓRGÃOS REPRODUTIVOS NA CARACTERIZAÇÃO DE *ANTHURIUM* (ARACEAE, ALISMATALES)

**Alessandra Ike Coan, Lívia Godinho Temponi e Letícia Peres Poli ..... 519**

EL USO DE SECUENCIACIÓN DE NUEVA GENERACIÓN PARA RESOLVER RELACIONES FILOGENÉTICAS EN LA FAMILIA ARACEAE

**Mónica Carlsen..... 523**

ARACEAE E AS FLORAS ESTADUAIS E DO BRASIL

**Marcus A. Nadruz Coelho..... 524**

ADVANCES IN SYSTEMATICS, EVOLUTION AND BIOGEOGRAPHY OF EUPHORBIACEAE AND PHYLLANTHACEAE IN LATIN AMERICA

**Ricarda Riina ..... 528**

TRIBE CROTONEAE IN BRAZIL: PRESENT AND FUTURE

**Maria Beatriz Rossi Caruzo, Daniela Santos Carneiro Torres, Inês Cordeiro, Letícia Ribes de Lima, Otávio Luis Marques da Silva & Ricardo Secco..... 529**

CROTONEAE (EUPHORBIACEAE) NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

**Ricardo de S. Secco ..... 537**

FLAVONOÍDES NO SUBPRODUTO DA VINIFICAÇÃO: COMPLEXIDADE E IMPORTÂNCIA

**Ismael Ivan Rockenbach ..... 539**

FLAVONOÍDES: ACTUALIDADES Y PERSPECTIVAS

**Javier Rincón Velandia..... 546**

FLAVONÓIDES DE *SOLANUM PALUDOSUM* (SOLANACEAE) COMO POTENCIAIS CANDIDATOS A AGENTES LEISHMANICIDAS

**Magna Suzana Alexandre Moreira & Morgana Vital de Araujo..... 551**

LAS PLANTAS MEDICINALES DE ARGENTINA: TRAS LA BÚSQUEDA DE ÁREAS RELICTAS PARA SU CONSERVACIÓN

**Gloria E. Barboza ..... 553**

DRUG DISCOVERY FROM HIGHER PLANTS: CHALLENGES AND PERSPECTIVES

**Emerson F. Queiroz..... 554**

BOTANICAL NOMENCLATURE – THE MELBOURNE CODE AND ITS NOVELTIES

**John McNeill, Nicholas Turland, Jefferson Prado & Sandra Knapp ..... 555**

DISTRIBUIÇÃO DE PALMEIRAS NAS FLORESTAS TROPICAIS: FATORES DETERMINANTES

**Rita de Cássia Quitete Portela, Maria Isabel Guedes Braz, Maurício Bonesso Sampaio e Mónica Moraes R. .... 562**

FUTURE CHALLENGES IN FERN ECOLOGY

**Klaus Mehltreter ..... 572**



AS AMEAÇAS DE ESTRESSORES LOCAIS E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS AOS BANCOS DE RODOLITOS BRASILEIROS – DESAFIOS PARA A PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO E FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

**Paulo Horta, José Bonomi Barufi, Leonardo Rorig, Ana Claudia Rodrigues, José Marcos de Castro Nunes, Fernando Scherner, Sonia Pereira, Pablo Riul, Tito Lotufo, Ellie Bergstrom, Letícia Peres, Marina Sissini, João Rosa, Pamela Munoz, Vanessa Freire, Eduardo Bastos & Marcia Figueiredo ..... 578**

MAPEANDO OS BANCOS DE RODOLITOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL E DE ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS: GIGANTESCAS BIOFÁBRICAS DE CARBONATO DE CÁLCIO E DE SUPORTE A DIVERSIDADE MARINHA

**Gilberto M. Amado Filho..... 588**

ESTUDOS TAXONÔMICOS EM ALGAS CORALINÁCEAS INCRUSTANTES FORMADORAS DE BANCOS DE RODOLITOS NO BRASIL

**Ricardo da Gama Bahia ..... 590**

DISTRIBUTION AND ORGANIZATION OF RHODOLITH/MAERL WORLDWIDE

**Rafael Riosmena-Rodríguez ..... 592**

O PAPEL DAS RPPNS NA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

**Cristina Benford Pernambuco & Wallace Alan Alves Ferreira Silva ..... 593**

PLANTAS MEDICINAIS DA RPPN IRACAMBI (MINAS GERAIS, BRASIL)

**Fabrcio Marcolino ..... 594**

CONSERVACIÓN DE FLORA EN LAS RESERVAS PARTICULARES DEL PATRIMONIO NATURAL (RPPN) DEL BIOMA MATA ATLÁNTICA, BRASIL

**Maria Cristina Weyland Vieira, Jorge Pedro Pereira Carauta (*in memoriam*), Pe. Lauro Palu, Andressa Novaes, Elton Nascimento e Sara Martins..... 597**

A detailed botanical illustration of a plant branch, likely a species of tree or shrub, rendered in a light blue, semi-transparent style. The illustration shows several large, ovate leaves with prominent pinnate venation and serrated margins. A central stem is visible, bearing a cluster of small, round fruits or buds. The background is a solid light blue color with a fine, white grid pattern.

# PARTE 1





# LA SISTEMÁTICA BIOLÓGICA DE NUESTRO TIEMPO: BIODIVERSIDAD, MOLECULAS, FACTOR DE IMPACTO Y EDUCACION

**Jorge V. Crisci**

Museo de La Plata, 1900 La Plata.

[crisci@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:crisci@fcnym.unlp.edu.ar)

La sistemática biológica es la disciplina científica que describe, nombra y clasifica a la diversidad de la vida y es el principio organizador de nuestro conocimiento sobre los seres vivos y, como tal, fundamenta las hipótesis explicativas y las leyes científicas de la biología. Actualmente, numerosas especies (muchas de ellas aún desconocidas para la ciencia) se extinguen debido a la actividad humana. La masiva extinción de especies es el factor principal del contexto en el cual transcurre la sistemática de nuestro tiempo, ya que la sistemática es la herramienta fundamental en la conservación de la biodiversidad. Además, existen otros tres poderosos factores que constituyen parte de ese contexto: (1) la biología molecular, (2) la evaluación de la tarea sistemática a través de medidas cuantitativas, como el factor de impacto y (3) la urgente necesidad de mejorar los aspectos educativos de los futuros sistemáticos y de utilizar la sistemática como herramienta educativa en la conservación de la biodiversidad. El objetivo de esta presentación es de tratar de construir una imagen coherente y científicamente exacta de la sistemática biológica de nuestro tiempo y de cómo, los factores principales que constituyen su contexto, condicionan la tarea del sistemático.



# EVOLUCIÓN DEL PAISAJE LATINOAMERICANO DURANTE LOS ÚLTIMOS 120 MILLONES DE AÑOS

**Carlos Jaramillo**

Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá.

[jaramilloc@si.edu](mailto:jaramilloc@si.edu)

**E**l origen y desarrollo de los bosques de tierras bajas neotropicales es aún un misterio. Hoy en día son dominados por angiospermas, las cuales aparecen a principios del Cretácico (~140 Ma). Durante el Cretácico, sin embargo, los bosques tropicales eran dominados por gimnospermas y helechos, no eran multiestratificados, y poseían un bajo potencial fotosintético. La caída de un meteorito hace 65 Ma, transformó las comunidades vegetales neotropicales. Los bosques que se desarrollaron después del evento del meteorito eran multiestratificados, con un dosel dominado por angiospermas y alto potencial fotosintético. El clima tropical ha variado con calentamientos y enfriamientos pronunciados durante los últimos 60 Ma. La diversidad del bosque ha aumentado con los calentamientos, y se ha reducido con los enfriamientos. En los últimos 7 Ma se ha producido la fuerte expansión de las sabanas y una dramática transformación del paisaje tropical en Latinoamérica. El registro fósil sugiere que las plantas modernas ya poseen la variabilidad genética necesaria para responder a incrementos de temperatura y CO<sub>2</sub> en el ambiente.

# MANEJO Y DOMESTICACIÓN DE PLANTAS EN MESOAMÉRICA

**Alejandro Casas, José Blancas, Adrana Otero-Arnaiz,  
Jeniffer Cruse-Sanders, Ana Isabel Moreno, Andrés Camou,  
Fabiola Parra, Susana Guillén, Mariana Vallejo, Ignacio Torres,  
América Delgado, Selene Rangel**

Universidad Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Ecosistemas,  
campus Morelia, Michoacán, México.

[acasas@cieco.unam.mx](mailto:acasas@cieco.unam.mx)

## Introducción

En este capítulo presentamos un panorama de estudios sobre manejo tradicional y domesticación de plantas en distintas regiones de México, particularmente dentro del área biocultural conocida como Mesoamérica. Paul Kirchoff (1943) usó primeramente el término Mesoamérica para identificar un área que comparte elementos culturales tales como el consumo de tortilla de maíz como eje principal de la alimentación, el consumo de pulque a partir de la savia fermentada de agaves, el juego de pelota, entre otros rasgos. Matos-Moctezuma (1994) identifica esta región entre la mitad meridional de México y la porción noroeste de la actual Costa Rica, pero reconoce que fue una región cultural sumamente dinámica y sus fronteras variables a lo largo de la historia. Según estos autores, en Mesoamérica es posible identificar rasgos culturales distintos a los de la zona árida del norte de México y sur de Estados Unidos, denominada Aridoamérica, así como de las culturas amazónicas y andinas de Sudamérica.

Las culturas de Mesoamérica desarrollaron técnicas de manejo de recursos bióticos y de ecosistemas que condujeron a la domesticación de plantas y a la agricultura. Actualmente se reconoce que estas experiencias son de las más antiguas del Continente Americano (MacNeish 1967, 1992). Aunque existe una influencia de casi 500 años de cultura y técnicas de manejo introducidas desde el Viejo Mundo, aun pervive una alta diversidad de conocimientos y técnicas tradicionales desarrollados por los pueblos indígenas del área. Nuestro grupo de investigación ha realizado estudios en distintas zonas de México, combinando enfoques etnobiológicos, ecológicos y evolutivos para documentar la diversidad de formas de manejo y domesticación de plantas. Particular interés tenemos en entender qué factores influyen en su inventiva, innovación y adopción y cuáles son las consecuencias sociales y ecológicas de su práctica. Estas preguntas son relevantes para analizar el por qué del origen de la agricultura. Durante el siglo XX, áreas científicas como la arqueología, la etnografía, la genética, la ecología y la etnobiología aportaron información importante para contestar preguntas acerca de cuándo, dónde y cómo se originó la agricultura. Sin embargo, el por qué de este surgimiento sigue siendo controvertido debido a la escasez de evidencia para contestarlo. Nuestro grupo considera que, puesto que los procesos de manejo y domesticación son vigentes, su estudio y comprensión en el presente pueden aportar elementos para entender lo que ocurrió en el pasado. Además, en la búsqueda de respuestas de valor teórico, el entendimiento de estos procesos permite ampliar nuestro

conocimiento sobre la experiencia técnica y el legado biocultural de las culturas indígenas de México. Este conocimiento es de considerable valor para construir perspectivas de manejo sustentable de recursos y ecosistemas en México y seguramente en otras partes del mundo.

Hemos realizado investigaciones en cerca de 40 comunidades campesinas mixtecas, nahuas, mazatecas, cuicatecas, popolocas, ixcatecas, purhépechas, mazahuas, mayas rarámuri y mestizas de distintas regiones de México (Figura 1, véase Casas *et al.* 1994; 2001, 2007; Farfán-Heredia *et al.* 2007; Camou *et al.* 2008; Lira *et al.* 2009; Blancas *et al.* 2010, 2013). En este capítulo presentamos un panorama de nuestras estrategias y métodos de investigación y analizamos algunos patrones generales de la cultura mesoamericana de manejar y domesticar plantas. El propósito es que eventualmente podamos analizar, con base en información comparable, la experiencia de regiones continentales tan importantes como lo son la región andina y amazónica y el noreste de los Estados Unidos, las cuales han sido propuestas como centros de origen de la agricultura por diversos autores.

## Estrategia de investigación

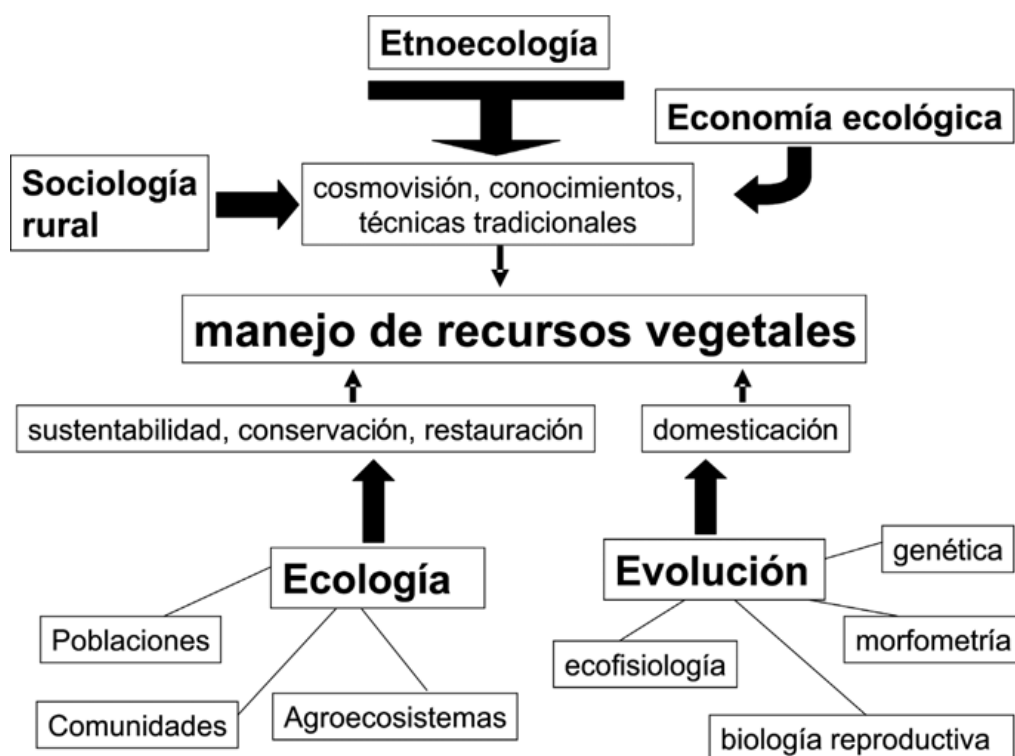
El eje central de nuestras investigaciones es el estudio de las interacciones entre humanos y plantas a través del manejo, entendiendo por manejo las intervenciones sobre sistemas (naturales y artificiales) y sus elementos (o recursos) o procesos, de acuerdo con propósitos determinados. El manejo puede involucrar aprovechamiento (apropiación y uso), conservación (mantenimiento), o restauración (recuperación) de recursos, procesos y/o sistemas (Casas *et al.* 2007; Blancas *et al.* 2010, 2013; Parra *et al.* 2012).



**Figura 1.** Regiones en donde se encuentran las cerca de 40 comunidades rurales estudiadas por nuestro grupo de investigación. Se anotan los grupos étnicos a los que pertenecen las comunidades.



Para estudiar el manejo articulamos tres áreas de investigación, una de ellas es la etnoecología (Toledo 2002; Toledo y Barrera-Bassols 2008), que permite analizar integralmente las cosmovisiones y conocimientos de los grupos sociales en relación con las formas de manejo que practican (Figura 2); igualmente importante es la teoría sobre acuerdos colectivos que regulan el acceso a los recursos (Ostrom 1990). A través de investigación ecológica analizamos las consecuencias del manejo sobre la estructura y dinámica de poblaciones, la composición e interacciones en comunidades bióticas y en funciones ecosistémicas (Figura 2). Buscamos entender cómo influyen la distribución, la abundancia, la diversidad de los recursos, las interacciones de éstos con otros organismos, en las formas de manejar los recursos y vice versa (Blancas *et al.* 2013); este análisis aspira también a aportar estrategias de manejo sustentable de recursos y ecosistemas. La tercera área de investigación es la de procesos evolutivos asociados al manejo: la domesticación. A través de morfometría, genética, fisiología y biología reproductiva comparada entre poblaciones silvestres y cultivadas buscamos entender los procesos que guían la domesticación y sus consecuencias a escala poblacional. Hemos usado aproximaciones filogeográficas para explorar áreas de origen y procesos de difusión de especies domesticadas. Tenemos particular interés en entender cómo se articulan los procesos de domesticación a escala poblacional con los que ocurren a escala de paisaje (Casas *et al.* 1997, Terrell *et al.* 2003; Parra *et al.* 2012).



**Figura 2.** Estrategia general de la investigación que lleva a cabo nuestro grupo de trabajo. El objetivo general es entender los procesos que influyen y son influidos por el manejo de recursos vegetales y de ecosistemas. Realizamos estudios integrando una perspectiva social, examinando la cultura, la organización social y procesos económicos (parte superior del diagrama). Bajo tal perspectiva se analizan los conocimientos y prácticas de manejo tradicional, reglas comunitarias, formas de intercambio, valor cultural y cómo estos aspectos influyen sobre el manejo. Los principales marcos conceptuales provienen de la etnoecología y la gobernanza de os bienes comunes. Desde la perspectiva ecológica tratamos de entender las causas y consecuencias del manejo de los recursos a distintas escalas de organización, (individuo, poblaciones, comunidades, ecosistemas). Buscamos entender los factores ecológicos que detonan respuestas de manejo y, asimismo, establecer bases para el manejo sustentable de recursos y ecosistemas. Desde una perspectiva evolutiva tratamos de entender cómo el manejo determina procesos de domesticación a escala poblacional y cómo se articulan éstos con los que ocurren a escala de paisajes.

## La diversidad bio-cultural de Mesoamérica

México posee una diversidad biocultural excepcional. En sus 2 millones de km<sup>2</sup> de extensión existe una alta variedad de ecosistemas naturales y una extraordinaria riqueza de paisajes manejados por miles de años (Moreno Calles *et al.* 2010; Blancas *et al.* 2010, 2013; Larios *et al.* 2013; Vallejo *et al.* 2014). Aloja una elevada diversidad biológica que comprende más de 25,000 especies vegetales (Toledo y Ordóñez 1993; Villaseñor 2003), 1150 de aves (Navarro *et al.* 2014), y más de 500 especies de mamíferos (Ceballos *et al.* 2002). Hay además una alta diversidad cultural, con 58 grupos étnicos indígenas hablantes de cerca de 290 lenguas (Toledo *et al.* 2001, De Ávila, 2008). La interacción de las sociedades tradicionales y la diversidad biológica de sus territorios (Casas *et al.* 2007; Blancas *et al.* 2010, 2013) han conformado un importante patrimonio biocultural (Boege 2008).

En un recuento sobre la flora útil de México, Caballero *et al.* (1998) estimaron que en el país existen entre 5,000 y 7,000 especies de plantas que son utilizadas por las diversas culturas. Sin embargo, en los últimos años se han publicado inventarios etnobiológicos que permiten suponer que esa cifra es subestimada. Por ejemplo, tan sólo en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán Casas *et al.* (2001) y Lira *et al.* (2010) registraron un inventario de más de 1,600 especies útiles, constituyendo cerca de 54% de la flora regional. Un ejercicio similar en otras regiones permite calcular que en promedio 39% de las especies de las floras regionales registran algún uso (Tabla 1), lo que significa que de un total de 25,000 (Villaseñor 2003) a 30,000 (Toledo y Ordóñez 1993) especies de plantas vasculares existentes en el país, debería esperarse la existencia de entre 10,000 y 12,000 especies con algún uso.

Un análisis similar puede realizarse para estimar el inventario de especies manejadas y de formas de manejo de plantas. Estudios detallados en el Valle de Tehuacán, indican que alrededor de 600 especies (cerca de 40% de las especies utilizadas) reciben alguna forma de manejo (Blancas *et al.* 2010). Desafortunadamente esta es la única cifra disponible sobre la proporción de plantas útiles que son manejadas en territorios específicos. Llevada a escala nacional esta cifra permitiría esperar

**Tabla 1.** Total de especies de plantas registradas en la flora de distintas regiones de México, así como el total y proporción que de tales floras son especies registradas con algún uso por los pueblos regionales.

Región	Total spp..	Spp. útiles	%
Valle de Tehuacán	2,621	1,608	61.2
Sierra de Manantlán	2,774	650	23.4
Selva Lacandona	1,660	415	24.9
Los Tuxtlas	814	274	33.7
Tuxtepec	737	296	40.2
Uxpanapa	800	336	40.6
Península de Yucatán	2,900	1,000	23.4
Sian Ka'an	558	316	56.6
Montaña de Guerrero	800	430	53.8
Sierra Huichola	1,652	532	32.2
<b>MÉXICO</b>	<b>30,000</b>	<b>11,700</b>	<b>39.0</b>
	<b>25,000</b>	<b>9,750</b>	<b>39.0</b>

alrededor de 4,000 especies bajo alguna forma de manejo, pero el cálculo es aún prematuro. Por ahora, el inventario más completo de plantas manejadas registradas en México, la base de datos del Jardín Botánico de la UNAM (Caballero *et al.* 1998) identifica menos de 1000 especies. Ashworth *et al.* (2009) identificaron más de 400 especies de plantas cultivadas comestibles y si se considera el amplio inventario de plantas ornamentales y medicinales cultivadas, el universo puede ser significativamente más alto. Calculamos conservadoramente que hay en México al menos 500 especies de plantas cultivadas, de las cuales alrededor de 200 son especies nativas.

El manejo tradicional de ecosistemas es la base fundamental para construir cualquier estrategia de conservación de la biodiversidad, entenderlo es por lo tanto altamente prioritario en cualquier agenda de conservación de la biodiversidad. Los sistemas de manejo tradicional continuamente se renuevan, así que deben verse como procesos dinámicos y la investigación académica como un medio que puede brindar elementos para potenciar tal proceso dinámico.

## Diversidad de riesgos

Es crucial identificar cuáles son los recursos de mayor importancia para los pobladores en distintas regiones, su consumo anual, la frecuencia de uso, las cantidades utilizadas y las preferencias, cuáles son consideradas sustituibles y cuáles no. Algunos ejemplos de los que hemos estudiado se muestran en la Tabla 2. Estos estudios permiten identificar las especies sobre las que existe una mayor presión humana. Ésta, junto con información ecológica, sobre su escasez y distribución, permite identificar qué recursos se encuentran en mayor riesgo asociado a su aprovechamiento. Pueden verse ejemplos de estos estudios en Casas *et al.* (2008), Pérez-Negrón y Casas (2007), Farfán *et al.* (2007), Camou *et al.* (2008), Arellanes *et al.* (2013) y Blancas *et al.* (2010, 2013). En una muestra de 8 comunidades campesinas estudiadas en el país encontramos que en promedio  $13\% \pm 4$  de las especies registradas como utilizadas tienen alto valor cultural y económico y están sujetas a las mayores tasas de extracción.

**Tabla 2.** Cantidades totales, frecuencia de consumo y preferencia de algunas especies de quelites, frutos comestibles y leña consumidas por unidades familiares de la comunidad de Quiotepec (para mayores detalles véase Pérez-Negrón y Casas 2007).

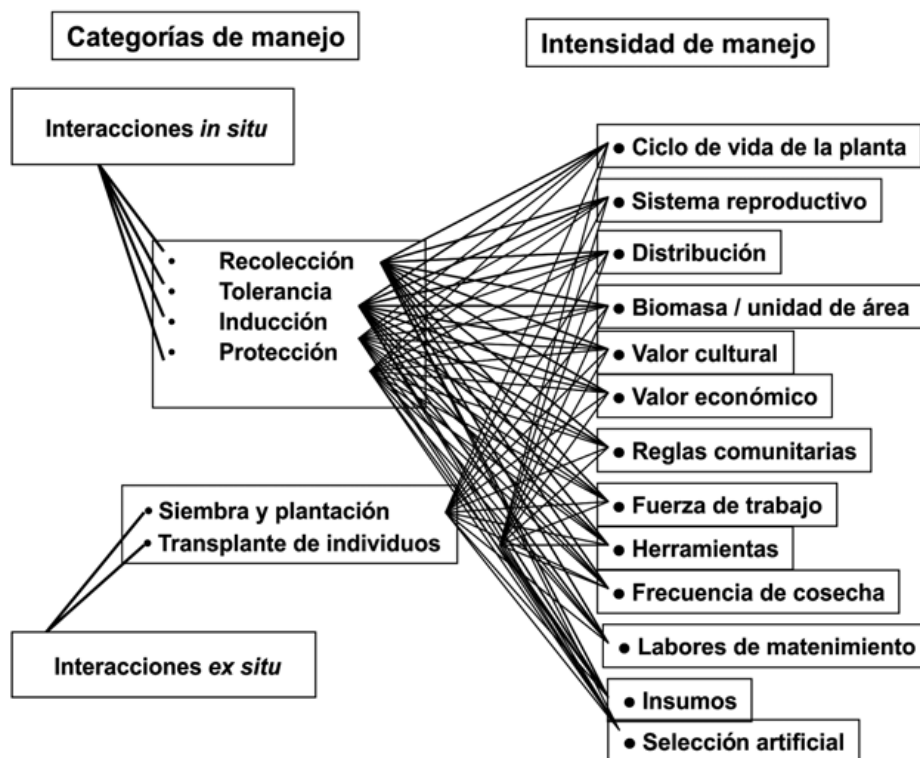
Especies	Consumo anual por familia (kg)	Frecuencia de uso (veces / temporada)	Preferencia (%)
<b>Quelites</b>			
Quintonil ( <i>Amaranthus hybridus</i> )	3.0	8.1	92.9
Verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> )	3.0	5.3	89.3
Quelite ( <i>Chenopodium berlandieri</i> )	2.3	3.2	78.4
Chipile ( <i>Crotolaria pumila</i> )	1.0	2.4	63.4
Yerba mora ( <i>Solanum nigrum</i> )	1.0	2.3	46.3
<b>Frutos</b>			
Chonosle ( <i>Escontria chiotilla</i> )	2.1	12.3	93.5
Pitaya ( <i>Stenocereus pruinosus</i> )	2.0	13.1	90.5
Cardón ( <i>Pachycereus weberi</i> )	2.0	11.7	90.1

Para analizar qué tanto la magnitud de la extracción de un recurso pone en riesgo su permanencia futura, es necesario analizar también la estructura y dinámica de sus poblaciones, las etapas del ciclo de vida que son críticos para su permanencia, qué interacciones con otras plantas y animales también lo son, qué partes de la planta se colectan y cuál es su efecto sobre la permanencia de las poblaciones. Podemos identificar categorías de riesgo de acuerdo con indicadores de estas variables. Así, por ejemplo, una especie escasa y con extracción intensa está en mayor riesgo que especies con alta disponibilidad y baja extracción. Pero en los ecosistemas hay recursos bajo una gran variedad de condiciones de riesgo influenciadas por distintos factores naturales y sociales que afectan su adecuación. Por ejemplo, el riesgo es más alto si se extrae todo un individuo que si se extrae sólo parte de éste, es mayor el riesgo si los recursos son escasos o muy abundantes, si son de distribución restringida o amplia, respectivamente. Los sistemas de polinización especializados pueden determinar que los organismos que los presentan sean más vulnerables que los generalistas, la combinación de reproducción asexual y sexual pueden amortiguar la vulnerabilidad que puede implicar la exclusividad de un tipo de reproducción, entre otros aspectos. Factores sociales como la alta demanda en el mercado, pueden aumentar el riesgo de un recurso (Arellanes *et al.* 2013, Blancas *et al.* 2013). Por el contrario, los procesos organizativos de las comunidades para abatir los riesgos, la existencia de reglas de uso, la organización productiva, técnicas de almacenamiento y conservas, o el impulso de estrategias y planes de manejo, entre otros pueden disminuir el riesgo. El riesgo neto de un recurso, finalmente será un balance de estos procesos, y los propósitos últimos (no exclusivos) del manejo son abatir los riesgos.

## Diversidad de formas de manejo

Diversos autores han propuesto que la agricultura y el pastoralismo surgieron como estrategias para disminuir la incertidumbre en la disponibilidad de recursos (Flannery 1986; Harris 1993). Sin embargo, durante milenios y hasta el presente las comunidades rurales siguieron practicando la recolección y la extracción de recursos forestales, así como la cacería junto a la agricultura y el pastoreo. Actualmente, numerosos recursos vegetales se encuentran bajo formas de manejo que no son ni recolección ni agricultura, y se han denominado formas de manejo incipiente por ser relativamente menos complejas que el manejo agrícola (Casas *et al.* 1996, 1997, 2007). Una de éstas es la tolerancia (Figura 3), que ocurre cuando la gente abre un terreno de cultivo y deja en pie algunas plantas, o bien, cuando la gente realiza desyerbes en la milpa y deja en pie plantas arvenses útiles (por ejemplo, quelites y varias especies de tomates). Otra forma de manejo es la inducción, que implica propagar algunas plantas a través de sus semillas o partes vegetativas con el fin de aumentar su disponibilidad. Algunas plantas reciben formas de protección especial, por ejemplo, la remoción de sus competidores, la protección de herbívoros o parásitos, de la sombra o la radiación solar excesiva. Todas estas son interacciones *in situ*; es decir, que ocurren en el lugar en donde se encuentran originalmente los organismos.

Hay formas de manejo que ocurren fuera de su ámbito natural (manejo *ex situ*) en lugares artificiales como los huertos y campos de cultivo. La gente lleva a estos sitios numerosos ejemplares de plantas silvestres y bajo otras formas de manejo; por ejemplo, suelen llevar orquídeas, cactáceas, agaves, entre otras, y las manejan. En la Figura 3 se puede apreciar que estas categorías de manejo están sujetas a distintos grados de intensidad. Influyen en la intensidad de manejo características biológicas y ecológicas de las especies, así como aspectos culturales, sociales y tecnológicos que marcan los ritmos de la interacción. Tomando en cuenta la intensidad, las formas de manejo pueden expresarse en una amplia gama de condiciones las cuales merecen elaborar tipologías detalladas, que no sólo son de valor teórico sino que además puede sentar una base metodológica para caracterizar y diseñar estrategias de manejo en diversas áreas del país.



**Figura 3.** Espectro de formas de manejo que se pueden identificar en distintas regiones de México. Las formas de manejo o interacciones *in situ* y *ex situ* son categorías generales de clasificación de los tipos de manejo. Estos pueden variar en la intensidad de acuerdo con aspectos ecológicos de recurso manejado, el valor cultural o económico que éste tenga, la viabilidad de manejarse, la fuerza de trabajo invertido en su aprovechamiento, la productividad y la práctica de selección artificial. Todos estos factores pueden tener una expresión variable y la variabilidad en su estado puede ayudar a caracterizar un amplio espectro de formas de manejo y de mecanismos y estados de domesticación. Modificado de Blancas *et al.* (2010).

En estudios en el Valle de Tehuacán (Blancas *et al.* 2013; Larios *et al.* 2013) analizamos con detalle el espectro de formas de manejo de plantas comestibles en comunidades rurales nahuas. De un total de 122 especies de plantas comestibles, cerca de 30% son domesticadas introducidas y 42% se obtienen mediante recolección simple, mientras que el resto (33 especies), son plantas nativas bajo alguna forma de manejo. El estudio destaca el amplio espectro de condiciones de riesgo ocasionado por múltiples factores ecológicos y sociales. Asimismo, destaca la alta relación entre las condiciones de riesgo y las respuestas de intensidad de manejo (Figura 5).

## Diversidad de procesos de domesticación

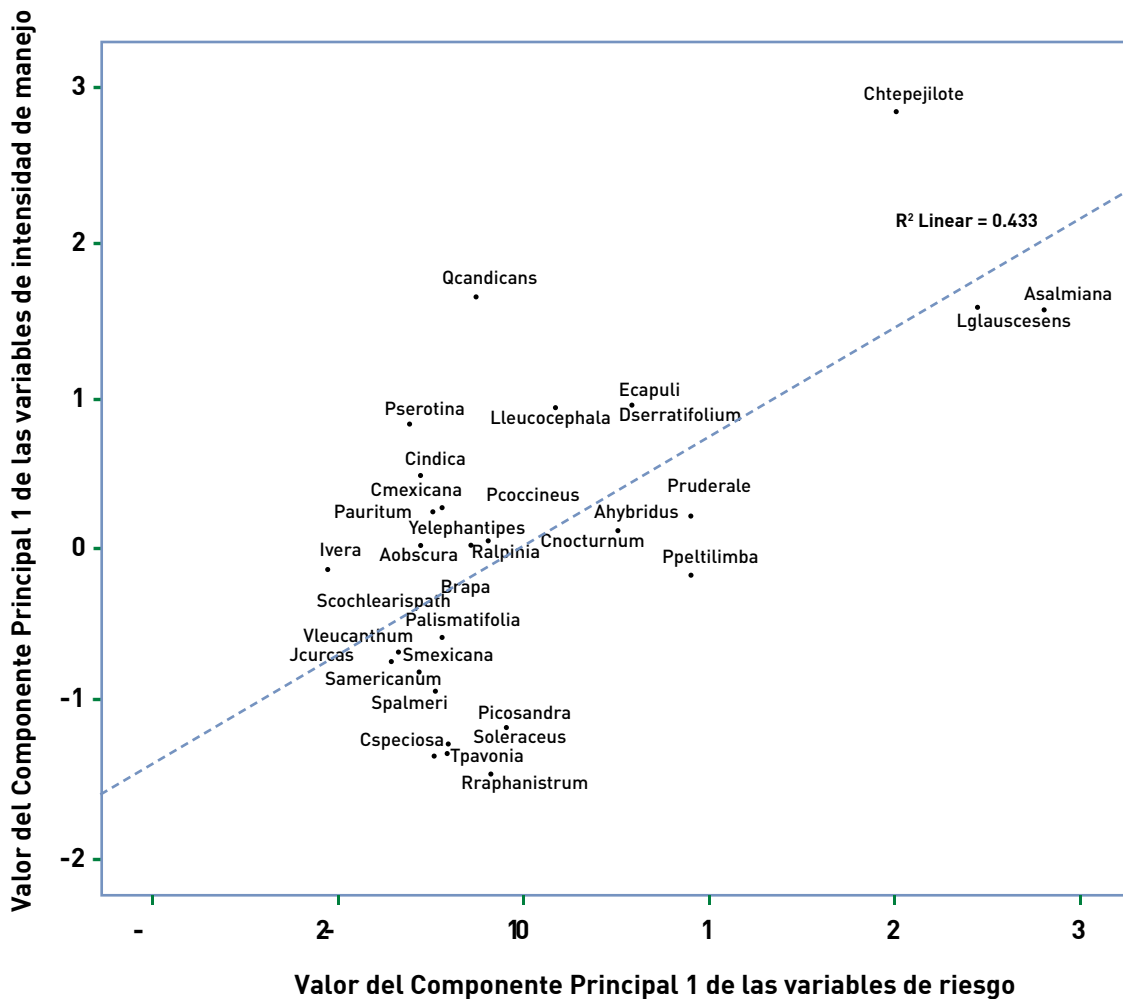
Entre las forma de manejo, la domesticación es particularmente importante. Mediante ésta los seres humanos moldean las formas y funciones de los organismos a través del manejo de la variabilidad genética, principalmente mediante selección artificial pero también a través del manejo de otras fuerzas evolutivas como el flujo génico y la deriva génica. Los mecanismos y criterios con los que opera la domesticación están profundamente ligados a la cultura; por eso la domesticación es un problema de investigación eminentemente biocultural. Importa documentar la diversidad de formas de vida de los organismos que se domestican, la diversidad de atributos que la gente distingue y valora, la diversidad de mecanismos a través de los cuales favorece o desfavorece la abundancia de fenotipos.

(A)

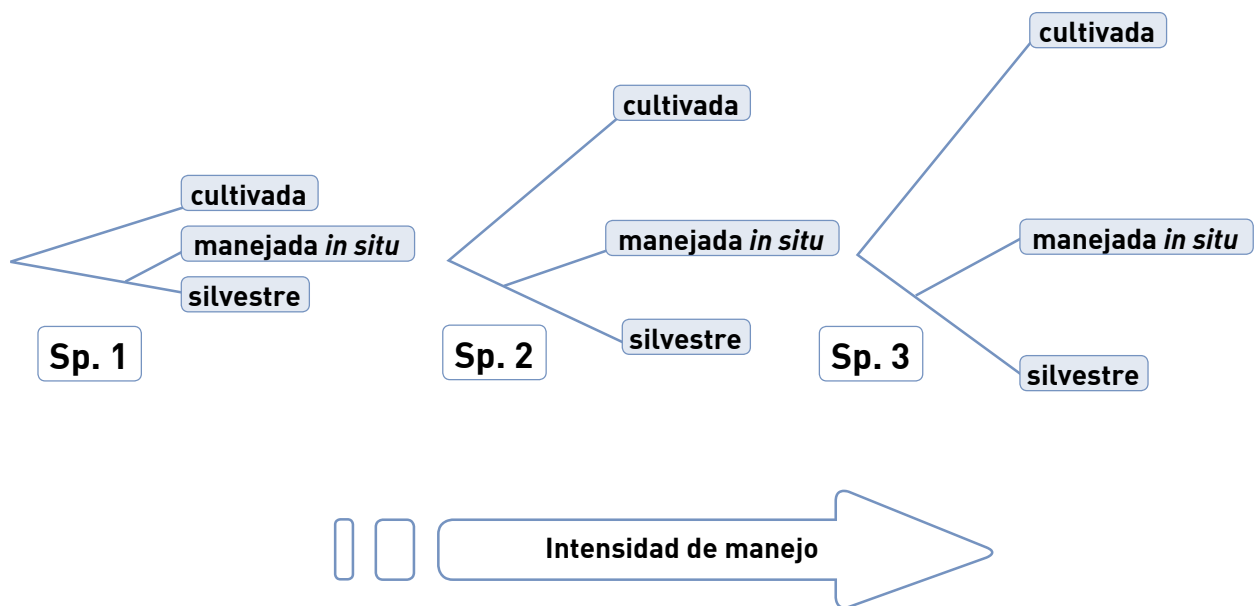
a) Varianza ecológica explicada por la Matriz X	b) Intersección de los componentes ecológicos y socio-culturales	c) Varianza socio-cultural por la Matriz X	d) Varianza no explicada
$a = (a+b+c) - (b+c)$	$b = (a+b) - a$	$c = (a+b+c) - (b+c)$	$d = 1 - (a+b+c)$

Intensidade de manejo de especies de plantas comestibles Matrix Y

(B)



**Figura 4.** (A) Relación entre el riesgo [evaluado a través de la escasez, la distribución restringida o amplia, la parte de la planta aprovechada, la demanda en el mercado y su valor cultural] y la intensidad de manejo [evaluada a través de la complejidad de prácticas de manipulación, la existencia o no de prácticas de selección artificial, la cantidad de productos obtenidos por unidad de área y el tipo de herramientas utilizadas] en plantas comestibles en comunidades náhuas de Coyomeapan, Puebla (Con base en Blancas *et al.* 2013). (B) Relación entre el índice de riesgo y el índice de intensidad de manejo, calculados ambos con base en los scores del primer componente principal de análisis multivariados de factores ecológicos, culturales, económicos y tecnológicos para 33 especies nativas de Coyomeapan, Puebla (Con base en Blancas *et al.* 2013).




**Figura 5.** Patrones de diversificación en relación con la intensidad de manejo. De acuerdo con esta hipótesis, una mayor intensidad de manejo determina una diferenciación más pronunciada entre las poblaciones silvestres, las manejadas in situ y las cultivadas.

La domesticación es un proceso evolutivo que involucra diversificación. Darwin (1859) usó como modelo el proceso de domesticación para fundamentar su teoría sobre el origen de las especies por selección natural. Mediante domesticación la gente mantiene diversidad, genera continuamente nuevas variedades, y además incorpora al sistema diversidad que proviene de otros sitios. Es un proceso continuo y por lo tanto vigente y observable en la actualidad. Entenderlo es muy importante desde el punto de vista teórico, pero también para desarrollar criterios para la toma de decisiones acerca del manejo sustentable de recursos genéticos. Así, más importante que conservar una u otra variedad interesante, es crucial mantener el proceso cultural, ecológico, biológico que hace posible la continua generación de variantes.

Hemos estudiado procesos de domesticación en recursos bajo distintas intensidades de manejo. Son los casos de hierbas comestibles o quelites, como los 'alaches' (*Anoda cristata*) y 'chipiles' (*Crotalaria pumila*) y algunos árboles como los 'guajes' (*Leucaena esculenta*). Los detalles de los estudios de estas especies pueden consultarse en Casas *et al.* (1997, 2007), Casas y Caballero (1995) y Zárate *et al.* (2006). Otro árbol que estudiamos es *Sideroxylon palmeri*, cuyos frutos son ampliamente comercializados en Tehuacán y en Oaxaca (González-Soberanis y Casas 2007). También hemos estudiado *Ceiba aesculifolia*, que se encuentran en los registros arqueológicos tempranos de Tehuacán y que hoy en día son un recurso de alto valor económico y cultural (Avendaño *et al.*, 2006, 2009; Arellanes *et al.* 2013). Sus semillas y raíces son comestibles y su algodón es una fibra muy importante aún en el presente; se comercializan sus semillas comestibles con una alta demanda y precio en el mercado regional. Al analizar aspectos de distribución y abundancia, así como niveles de extracción y comercialización, Arellanes *et al.* (2013) identificaron que esta es una de las especies más vulnerables en el Valle de Tehuacán, por lo que analizar el efecto de la recolección de semillas en poblaciones naturales, y el desarrollo de modelos de aprovechamiento sustentable es prioritario.

El sistema que hemos estudiado con mayor detalle es el de cactáceas columnares, recursos de alta importancia cultural y económica en distintas regiones de México. Este sistema permite visualizar un gradiente de intensidad de manejo en función del tipo de propagación, selección artificial y velocidad de crecimiento. Especies como *Escontria chiotilla* son de lento crecimiento y difíciles de



cultivar. Otras especies como *Neobuxbaumia tetetzo* producen frutos muy valorados por la gente pero su crecimiento es aún más lento que el de la *E. chiotilla*. Estas especies se manejan en sistemas agroforestales, en los cuales la gente deja en pie, protege o transplanta individuos de un sitio a otro. Otras especies como *Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus* se cultivan intensivamente, tienen propagación vegetativa y su rápido crecimiento facilita su cultivo y la selección artificial es más intensa que en especies de lento crecimiento (Casas *et al.* 2007). Estos casos permiten visualizar un gradiente de intensidad de manejo y el efecto variable de la domesticación en éste.

Hemos hipotetizado que a mayor intensidad de manejo los procesos de diversificación son más notorios. Así, las poblaciones bajo manejo silvícola *in situ* se parecen más a las silvestres que a las cultivadas, pues tales poblaciones derivan directamente de poblaciones silvestres. Pero si la selección artificial opera más intensamente, la diversificación puede ser más pronunciada (Figura 6). Lo anterior permite analizar la diversificación morfológica, así como en los sistemas de reproducción y en el estado de la diversidad genética en las poblaciones silvestres y manejadas y los grados de divergencia en relación con la intensidad del manejo.

La información etnobotánica permite documentar las motivaciones y mecanismos mediante los cuales opera la selección artificial. Una condición fundamental de cualquier proceso de selección es que haya variabilidad; en el caso de la selección artificial es preciso documentar tal variabilidad y cómo la percibe la gente. Así, por ejemplo, la gente clasifica variedades de especies de cactáceas con base en atributos como el tamaño del fruto, el color de la pulpa y de la piel, sabor, textura, grosor de la piel. Los estudios morfométricos permiten documentar cómo varían estos atributos y qué patrones resultan del proceso selectivo. Una pregunta central es si los patrones de diversidad se expresan en divergencias entre lo silvestre y lo cultivado, y qué tanto.

Mediante entrevistas con la gente y mediante marcadores moleculares hemos explorado la proveniencia de los materiales (Parra *et al.* 2010, 2012; Cruse-Sanders *et al.* 2013) que permiten analizar procesos de flujo génico entre lo silvestre y lo cultivado y los patrones de difusión regional e interregional. Hemos diseñado de índices multivariados de diversidad y de diferenciación morfológica entre las poblaciones silvestres y las manejadas, comparándolos con los que se usan con marcadores genéticos. Se esperaba mayor diferenciación entre poblaciones silvestres y aquellas más intensamente manejadas. Los resultados hasta el presente parecen indicar un gradiente de divergencia en relación con la intensidad del manejo (Blancas *et al.* 2009, Parra *et al.* 2012). La Tabla 3 muestra algunos datos al respecto. La información es aún escasa, pero es posible apreciar un patrón congruente con la hipótesis planteada.

Las poblaciones cultivadas generalmente tienen menor diversidad genética que las silvestres y cuando hacemos una comparación de poblaciones silvestres y cultivadas de varias especies, podemos apreciar que algunas presentan ese patrón, pero otras no. Curiosamente las excepciones son justamente las especies más intensamente manejadas, en las que las poblaciones cultivadas pueden tener mayor diversidad genética que las poblaciones silvestres. Ello puede deberse a que la gente está trayendo continuamente materiales silvestres a sus solares, los cuales además coexisten con sus parientes silvestres recibiendo genes de éstos; asimismo, la gente recambia continuamente las plantas de su solar, y algunos campesinos incluso llevan a sus solares materiales vegetales desde otros pueblos. Es decir, en los sistemas manejados se mueven propágulos de muy diverso origen. Este patrón ilustra la gran capacidad que tienen los pueblos tradicionales de mantener e incorporar nueva diversidad, y el papel fundamental que desempeñan en la conservación de los recursos genéticos y la biodiversidad.

De manera similar esperaríamos que a mayor intensidad de manejo haya mayor divergencia en los patrones de germinación y en los patrones de reproducción. Parcialmente hemos encontrado resultados consistentes con esta suposición; sin embargo, las especies que hemos estudiado tienen una historia natural más compleja que lo que plantea nuestra hipótesis de trabajo. Las especies que he-




mos estudiado son predominantemente auto-incompatibles. Hemos identificado especies en las que puede visualizarse el patrón supuesto; por ejemplo, *Polaskia chichipe* en la cual la auto-polinización es posible en condiciones naturales, logrando producir en una cierta medida frutos independientemente de que haya o no polinizadores. Este hecho ha motivado que en la historia de la domesticación la selección artificial favorezca la frecuencia de plantas con auto-polinización en diversas especies. Y de hecho, en las poblaciones cultivadas de *Polaskia* y *Myrtillocactus* encontramos que hay un porcentaje mayor de auto-compatibilidad que en las poblaciones silvestres. Sin embargo, hay especies como las del género *Stenocereus* en las que no hemos logrado registrar auto-compatibilidad ni en poblaciones silvestres ni en poblaciones cultivadas. Las flores de las especies de *Stenocereus* son polinizadas por murciélagos; y aunque en teoría las poblaciones silvestres y cultivadas pueden intercambiar polen entre sí, hemos encontrado que las poblaciones silvestres son visitadas principalmente por una especie de murciélago y las cultivadas por otra especie. Otro ejemplo similar, es el de *Myrtillocactus*, un garambullo; las flores de esta especie son visitadas por unas abejas del género *Plebeia*, tábanos y una abeja carpintera (*Xylocopa mexicanorum*) que es aparentemente el polinizador más efectivo. Pero las visitas son diferentes; las *Plebeia* visitan más a las silvestres, y la abeja carpintera visita más las cultivadas. Es posible que tanto en el caso de murciélagos como en el de abejas las diferencias se deban a la abundancia diferencial de recursos (generalmente mayor en poblaciones cultivadas), diferente tolerancia a la perturbación, así como capacidades competitivas distintas entre especies.

Los estudios expuestos permiten visualizar la diversidad de temas ecológicos, biológicos y culturales que se requieren abordar al estudiar procesos bioculturales como lo es la domesticación. Es posible imaginar que la extinción de alguna de las variedades o especies como las mencionadas, así como la pérdida de cultura de uso y manejo de los recursos referidos pueden dar al traste con todo el sistema. Y todos estos elementos y procesos tienen riesgos de desaparecer. Por ejemplo, en el caso de los murciélagos ha habido campañas para erradicar vampiros, que invariablemente han afectado a los murciélagos en general. En Tehuacán hay 36 especies de murciélagos y solo una es vampiro, las demás son insectívoras, nectarívoras, frugívoras, que tienen grandes aportaciones al mantenimiento de los ecosistemas. La disminución de las poblaciones de murciélagos afecta la producción de fruta de las especies como las de *Stenocereus*. Lo mismo podríamos comentar sobre las poblaciones de abejas carpinteras (*Xylocopa mexicanorum*), abejorros (*Bombus* spp.) y meliponinas (*Plebeia* spp. *Mellipona* spp.), las cuales polinizan a las flores de las especies de *Polaskia*, *Escontria* y *Myrtillocactus* y cuyas poblaciones se ven afectadas por el uso de insecticidas. Implicaciones similares puede tener la pérdida de alguna de las variedades que se han mencionado anteriormente, o la pérdida del interés por cultivar y seguir practicando selección artificial. Los procesos mencionados se encuentran integrados y debe hacerse un esfuerzo por entenderlos de manera holística.

## Manejo de sistemas de diversidad

En México existe una gran variedad de sistemas agroforestales (Moreno-Calles *et al.* 2013), y en ellos hemos encontrado una alta diversidad de especies manejadas (Blancas *et al.* 2010). Entre los estudios más detallados están los sistemas de milpa realizados en zonas áridas (Moreno-Calles *et al.* 2010, 2012; Hoogestager 2012), bosque tropical seco, bosques templados (Vallejo *et al.* 2014), valles aluviales (Figura 7) y huertos.

En estos estudios se muestrearon los sistemas agroforestales y los bosques en áreas comparables, analizando el número de especies que están en el bosque y que también se encuentran en el sistema agroforestal. Se encontró que en los sistemas de zonas áridas en promedio cerca del 56% de las especies de plantas que encuentran en los muestreos del bosque están también en los sistemas agroforestales. En los bosques templados se encontró que en promedio 43% de las especies



de los bosques locales se encontraban en los sistemas (Vallejo *et al.* 2014), en los valles aluviales cerca de 50% y en los huertos 16% a 35% (Larios *et al.* 2013). Hay un mayor número de especies o una mayor proporción de especies útiles en los sistemas agroforestales que en la vegetación silvestre; es decir, el manejo favorece la abundancia de especies utilizadas. En estos procesos a escala de paisaje la gente deja y quita elementos de distintas especies que componen el paisaje, moldeando o domesticando el paisaje (Terrell *et al.* 2003), o quizás más adecuadamente, por tratarse de unidades espaciales de significancia cultural, deberíamos hablar de procesos de domesticación de territorios. Se ha escrito relativamente poco en la conceptualización de estos procesos como expresiones de domesticación (Terrell *et al.* 2003). Sin embargo, es posible visualizar que los procesos de domesticación a escala de individuos y poblaciones influyen significativamente sobre los procesos que ocurren a escala de paisaje y viceversa; por ello, consideramos de particular relevancia abordar de manera integral los procesos de domesticación en las diferentes escalas.

Los sistemas agroforestales son fundamentales en cualquier política de conservación de biodiversidad. No solamente en términos de la composición que pueden albergar, sino también de las interacciones que establecen los componentes de estos sistemas con lo que hay en los bosques naturales. Estas interacciones pueden ser reproductivas, el polen y/o las semillas de una población se mueven a otras (estos procesos involucran lo que los ecólogos denominan flujo de genes entre poblaciones), también otras interacciones como la frugivoría, la herbivoría o el nodricismo son interacciones relevantes. Generalmente, en los estudios de genética de poblaciones que hemos realizado, hemos encontrado valores de flujo génico entre poblaciones cultivadas y silvestres mucho mayores que 1. Esto significa que ambos tipos de poblaciones tienen una interacción reproductiva y genética muy alta y que estos sistemas artificiales son importantes en términos del mantenimiento general de la diversidad genética de las poblaciones tanto cultivadas como manejadas *in situ* y silvestres. Los sistemas agroforestales son reservorios de recursos, áreas de domesticación, y áreas de interacciones entre los componentes de los sistemas silvestres y domesticados.

No obstante sus bondades, estos sistemas enfrentan una problemática que pone en entredicho su mantenimiento futuro. La cobertura vegetal disminuye o incluso se pierde en la medida que se intensifica la agricultura. Este proceso está ligado en parte a la fragmentación de la propiedad de las parcelas. Los ejidatarios que cuentan con una parcela se la dejan a sus hijos que forman nuevas familias, cada una de las cuales hace uso de una parte de la parcela original, lo que los obliga a intensificar la agricultura y a eliminar los remanentes de vegetación. Pero además, programas gubernamentales como 'Procampo' que sin entender la importancia del componente forestal de estos sistemas desincentiva su mantenimiento, pues a su juicio tales fragmentos forestales restan superficie agrícola a las parcelas (Moreno-Calles *et al.* 2012). Es necesario identificar y entender las causas de estos problemas para diseñar estrategias y para abordarlas.

## La investigación como apoyo a las experiencias locales de manejo

El conocimiento local tiene muchas virtudes pero también limitaciones. Las técnicas locales están en continua construcción, son dinámicas, y frecuentemente los ritmos que se requieren para atender un problema son rebasados. Reconocer las limitaciones de los procesos tradicionales conlleva a visualizar el papel activo que puede desempeñar la investigación como soporte a las estrategias que día a día construyen los procesos tradicionales. Si hay respuestas tecnológicas acordes con las presiones la gente y los recursos saldrán adelante, pero si no, hay un riesgo de que estos sistemas se colapsen. Un ejemplo de estos procesos lo ilustra el maguey mezcalero *Agave potatorum*; este maguey en la zona zapoteca de los Valles Centrales e Istmo de Tehuantepec se conoce como 'to-

balá' y con éste se produce uno de los mezcales más exquisitos. Este maguey se encuentra también en Tehuacán, donde quizás están los remanentes más importantes de poblaciones de esta especie. Actuar para la conservación de esta especie en esta región es entonces crucial.

Delgado *et al.* (2014), caracterizaron cómo es el proceso de producción de mezcal, la extracción del maguey, el proceso de elaboración. Hicieron una investigación ecológica para saber cuánto maguey hay disponible en el territorio de la comunidad y un estudio de las tasas anuales de extracción. Los datos indican que en el territorio estudiado hay cerca de 10,000 individuos adultos por año; para elaborar mezcal se utilizan los individuos adultos, justo antes de que produzcan su quiote y su cosecha cancela la reproducción, por lo que el impacto es muy severo. Anualmente la gente utiliza 12,000 magueyes. De su territorio extraen 6,000 y el resto lo compran a otras comunidades. Cerca del 60% de los individuos reproductivos de ese territorio son cosechados para elaborar mezcal. Pero hay parajes en donde la gente prefiere ir a cosecharlos y en algunas áreas se puede extraer el 100% de individuos adultos. Hay áreas que la gente identifica como sitios que en el pasado (10 a 20 años) eran zonas en las que se encontraba el maguey y hoy en día ha desaparecido.

Torres *et al.* (2013) hicieron un trabajo de ecología de poblaciones de maguey para calcular la lambda de algunas poblaciones y simular cuál era el efecto de la cosecha sobre este parámetro y generar recomendaciones para una cosecha sustentable. Con el Grupo de Estudios Ambientales en la región Centro-Montaña de Chilapa y Ahuacutzingo, Guerrero se efectuó un taller en el que los campesinos de Tehuacán intercambiaron sus experiencias con los de GEA. Se hizo ese trabajo con el fin de explorar modelos de extracción sustentable. No encontramos una propuesta clara. Los sitios estudiados son de los más conservados y aún en éstos la lambda está por debajo de 1; es decir, también están ya en riesgo. De hecho la gente, un tanto presionada por la Reserva de la Biósfera en su asamblea comunitaria, decidió declarar vedas en algunas áreas y hacer trabajo de recuperación de las poblaciones.

Las semillas las dispersa el viento, y son polinizados por murciélagos. Estrella (2008) estudió cómo se poliniza esta especie, y lo que encontró es que en sitios donde hay pocos individuos reproductivos los murciélagos casi no acuden a visitar las flores. Es decir, en los sitios ya diezmados, la producción de semillas por individuo va a ser más baja que en otros sitios menos perturbados. Otro tema importante lo abordó Rangel-Landa (en prensa), Torres *et al.* (2013), quien estudió cómo germinan y cómo se establecen los agaves. Encontró que en el campo solamente entre el 7 y 8% de las semillas que caen en sitios seguros logran germinar y de las plántulas que resultan sobreviven unas cuantas. En cambio, si se germinan las semillas en laboratorio se obtiene hasta 90% de germinación. En términos de un esfuerzo por recuperar a las poblaciones vale la pena hacer este tipo de propagación. Los campesinos en la comunidad lo hicieron, en sus propios viveros. Pero el trasplante al campo lo hicieron sin ningún plan, y al primer año murió el 90% de las plantas. Nuestro diagnóstico concluyó que estos agaves necesitan plantas 'nodriza', no pueden crecer en los sitios abiertos. Esto resultó de un estudio ecológico que permitió identificar especies de plantas nodrizas específicas que brindan microambientes particularmente favorables a estas plantas. Todo este rompecabezas ha ayudado a diseñar una propuesta de cómo manejar el recurso agave con base en diversos criterios ecológicos.

A lo largo de esta y otras experiencias nuestro equipo ha visualizado que es particularmente relevante construir y aportar a las comunidades estrategias de monitoreo participativo de las acciones emprendidas; es decir, la gente está ensayando técnicas de manejo continuamente, poniendo en práctica sus iniciativas de proteger, de conservar, de recuperar recursos, y lo más importante es agilizar el aprendizaje de las lecciones que dejan esas prácticas. Nosotros colaboramos con el proyecto que ellos impulsaron, y la sistematización de la experiencia es quizás una de las aportaciones más valiosas; es una forma de acortar caminos, de reducir los tiempos en los que se construyen innovaciones técnicas.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al PAPIIT, DGAPA, UNAM (proyectos IN205111-3 y IN209214), así como al CONACYT (proyecto CB-2008-01-103551) su apoyo financiero. En especial, agradecemos la calidez humana de la gente de las comunidades campesinas en las que hemos trabajado, quienes han compartido su sabiduría y han sido muy generosos durante nuestra estancia en sus territorios. Agradecemos a GEA y CONTEC, organizaciones civiles con las que aspiramos a consolidar alianzas de trabajo conjunto.

## Referencias

- Ashworth, L.; M. Quesada, A. Casas, R. Aguilar y K. Oyama. 2009. Pollinator- dependent food production in Mexico. **Biological Conservation** **142**: 1050-1057.
- Arellanes Y., A. Casas, A. Arellanes, E Vega, J Blancas, M Vallejo, I Torres, S Rangel-Landa, A I Moreno-Calles, L Solís ,E Pérez-Negrón. (2013). Influence of traditional markets on plant management in the Tehuacan Valley. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine** **9**(1), 38.
- Avendaño, A., A. Casas, P. Dávila y R. Lira. 2006. Traditional use, management and commercialization of "pochote" *Ceiba aesculifolia* (H. B. & K.) Btitten & Baker subsp. *parvifolia* (Rose) P. E. Gibbs & Semir (Bombacaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. **Journal of Arid Environments** **67**: 15-35
- Avendaño, A., A. Casas, P. Dávila y R. Lira. 2009. In situ management and patterns of morphological variation of *Ceiba aesculifolia* subsp. *parvifolia* in the Tehuacán Valley. **Economic Botany** **63**(2): 138-151.
- Blancas J, A Casas, R Lira, J Caballero (2009). Traditional Management and\_Morphological patterns of *Myrtillocactus schenckii* (Cactaceae) in the\_Tehuacán Valley, Central Mexico1. **Economic Botany** **63**(4): 375-387.
- Blancas J, A Casas, S Rangel-Landa, A Moreno-Calles, I Torres, E Pérez Negrón, L Solís, A Delgado-Lemus ,F Parra, Y Arellanes , J Caballero, L Cortés, R Lira, P Dávila (2010) Plant Management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. **Economic Botany** **64**: 287-302.
- Blancas J., A Casas, D Pérez-Salicrup, J Caballero, E Vega. (2013). Ecological and socio cultural factors influencing plant management in Nahuatl communities of the Tehuacan Valley, Mexico. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine** **9**(1): 39.
- Boege E. 2008. **El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México**. Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Caballero J, A Casas, L Cortés, y C Mapes. (1998). Patrones en el conocimiento, uso y manejo de plantas en pueblos indígenas de México. **Estudios Atacameños**, 181-195.
- Casas, A.; J.L. Viveros y J. Caballero. 1994. **Etnobotánica mixteca: sociedad, cultura y recursos naturales en la Montaña de Guerrero**. Instituto Nacional Indigenista CONACULTA, México.
- Casas, A. y J. Caballero. 1996. Traditional management and morphological variation in *Leucaena esculenta* (Moc. et Sessé ex A.DC.) Benth. in the Mixtec region of Guerrero, Mexico. **Economic Botany** **50** (2): 167-181.
- Casas, A.; M.C. Vázquez; J.L. Viveros y J. Caballero. 1996. Plant management among the Nahuatl and the Mixtec of the Balsas river basin: an ethnobotanical approach to the study of plant domestication. **Human Ecology** **24** (4): 455-478.
- Casas A, J Caballero, C Mapes y S Zárata. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. **Boletín de la Sociedad Botánica de México** **61**: 31-47.
- Casas A, A Valiente-Banuet, JL Viveros, J Caballero (2001) Plant resources of the Tehuacán Valley, México. **Economic Botany** **55**: 129-166
- Casas A, A Otero-Arnaiz, E Pérez-Negrón, A Valiente-Banuet (2007) In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. **Annals of Botany** **100**: 1101-1115

- Casas A, S Rangel-Landa, I Torres, E Pérez-Negrón, L Solís, F Parra, J. Blancas, B Farfán Heredia, Al Moreno-Calles (2008) In situ management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México: an ethnobotanical and ecological approach. En: De Albuquerque, U.P., Alves-Ramos M (eds.), **Current topics in Ethnobotany**. Research Signpost, Kerala, India, pp 1-25
- Camou-Guerrero, A., V. Reyes-García, M. Martínez-Ramos, A. Casas. 2008. Knowledge and use value of plant species in a Raramuri community: a gender perspective. **Human Ecology 36**: 259-272.
- Ceballos, G., J. Arroyo-Cabral y R. Medellín. 2002. Mamíferos de México. En: Ceballos, G. y J. A. Simonetti (eds.). 2002. **Diversidad y Conservación de los Mamíferos Neotropicales**. CONABIO-UNAM. México, pp. 377-413.
- Cruse-Sanders J. M., E. A. Friar, K. C. Parker, D. I. Huang, S. Mashayekhi, L. M. Prince, A. Otero-Arnaiz, A. Casas. 2013. Managing diversity: domestication and gene flow in *Stenocereus stellatus* Riccob. in Mexico. **Ecology and Evolution 3**(5): 1340-1355.
- Darwin, C. 1859. **On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favored races in the struggle for life**. John Murray, Londres.
- De Ávila A. 2008. La diversidad lingüística y el conocimiento etnobiológico. En: Sarukhán Kermez, José (Coordinador general) **Capital natural de México. Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad**. Compiladores: Jorge Soberón, Gonzalo Halffter y Jorge Llorente-Bousquets. CONABIO, México, D.F., capítulo 16, págs. 497-556.
- Delgado-Lemus, A.; I. Torres; A. Casas; M. Martínez-Ramos, R. Lira y O. Téllez-Valdés. 2014. Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: Perspectives for its sustainable management. En prensa **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**.
- Estrella-Ruíz P. (2008). **Efecto de la explotación humana en la biología de la polinización de *Agave salmiana* y *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán**. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, UNAM.
- Farfán, B.; A. Casas, G. Ibarra y E. Pérez Negrón. (2007). Mazahua ethnobotany and people subsistence in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. **Economic Botany 61**(2): 173-191.
- Flannery, K. (Editor). 1986. **Guilá Naqitz**. Academic Press. New York.
- González-Soberanis C y A Casas. (2004). Traditional management and domestication of tempequistle, *Sideroxylon palmeri* (Sapotaceae) in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. **Journal of Arid Environments 59**(2): 245-258.
- Harris D. R. (ed.) 1996. **The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia**. UCL Press, Londres.
- Hoogesteger V. M. 2012. **Tajos de la Sierra Gorda guanajuatense: agroecosistemas de importancia ecológica, económica y cultural**. Tesis de Licenciatura. Licenciatura en Ciencias Ambientales, UNAM.
- Kirchhoff, P. 1943. Mesoamerica: Sus Límites Geográficos, Composición Étnica y Caracteres Culturales. **Acta Americana 1**: 92-107, Washington D.C.
- Larios, C.; A. Casas, M. Vallejo, A. I. Moreno-Calles y J. Blancas. 2013. Plant management and biodiversity conservation in Náhuatl homegardens of the Tehuacán Valley, Mexico. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 9**:74
- Lira R, A Casas, R Rosas-López, M Paredes-Flores, S Rangel-Landa, L Solís, I. Torres, P. Dávila (2009). Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán Cuicatlán, México. **Economic Botany 63**: 271-287.
- MacNeish RS (1967) A summary of subsistence. En: Byers DS (ed), **The prehistory of the Tehuacán Valley: Environment and Subsistence vol.1**. University of Texas Press, Austin, Texas, pp 290-309.
- MacNeish, RS. 1992. **The origins of agriculture and settled life**. Oklahoma University Press.
- Matos Moctezuma, E. 1994. Mesoamerica. En: **Historia Antigua de México: El México Antiguo, sus Áreas Culturales, los Orígenes y el Horizonte Preclásico** (L. Manzanilla y I. López Luján, Eds.), Vol. I: 49-74, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- Moreno-Calles A. I., A Casas, J Blancas, I Torres, O Masera, J Caballero, L García-Barrios, E. Pérez-Negrón, S Rangel-Landa. 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: The case of the Tehuacan Valley, Central Mexico. **Agroforestry Systems 80**: 315-331.

- Moreno-Calles A. I., A Casas, E García-Frapolli, I Torres. 2012. Traditional agroforestry systems of multi-crop "milpa" and "chichipera" cactus forest in the arid Tehuacan Valley Mexico: Their management and role in people's subsistence. **Agroforestry Systems** **84**: 207-226.
- Moreno-Calles A, V Toledo, A Casas. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. **Botanical Sciences** **91**: 375-398.
- Navarro-Sigüenza A. G., M. F. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez, A. Townsend Peterson, H. Berlanga-García y L. A. Sánchez-González. 2014. Biodiversidad de aves en México. **Revista Mexicana de Biodiversidad Supl.** **85**: S476-S495.
- Ostrom E. (1990). **Governing the commons: The evolution of institutions for collective action**. Cambridge University Press.
- Parra F, J Blancas, A Casas. (2012). Landscape management and domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley: human guided selection and gene flow. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine** **8**(1), 1-17
- Pérez-Negrón E y A Casas (2007). Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The case of Santiago Quiotepec, Oaxaca. **Journal of Arid Environments** **70**(2), 356-379.
- Rangel-Landa S.; P. Dávila and A. Casas. 2014. Establishment of Agave potatorum: an ecological approach for developing assisted populations' recovery. En revisión. **Forest Ecology and Management**.
- Terrell J.E., Hart J.P., Barut S., Cellinese N., Curet A., Denham T., Kusimba CM., Latinis K., Oka R., Palka J., Pohl M.E.D., Pope K.O., Williams P.R., Haines H. y Staller J.E. 2003. Domesticated landscapes: The subsistence ecology of plant and animal domestication. **Journal of Archaeological Method and Theory** **10**(4): 323-368.
- Toledo, V.M. y M. J. Ordóñez. 1993. The biodiversity scenario of México: A review of terrestrial habitats. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.) **Biological Diversity of Mexico: Origins and distribution**. Oxford University Press.
- Toledo VM (2002) Ethnoecology: a conceptual framework for the study of indigenous knowledge of nature. En: Stepp JR, Wybdgan FS, Zager RK (eds) **Ethnobiology and biocultural diversity**. International Society of Ethnobiology, Georgia, pp 511-552.
- Toledo VM, N Barrera-Bassols (2008). **La memoria biocultural**. Icaria España.
- Toledo, V. M., P. Alarcón-Chaires, P. Moguel, M. Olivo, A. Cabrera, E. Leyequien y A. Rodríguez-Aldabe. 2001. El Atlas Etnoecológico de México y Centroamérica: Fundamentos, Métodos y Resultados. **Etnoecológica** **6** (8) 7-41.
- Torres, I.; A. Casas; A. Delgado-Lemus y S. Rangel-Landa. 2013. Aprovechamiento, demografía y establecimiento de Agave potatorum en el Valle de Tehuacán, México: Aportes etnobiológicos y ecológicos para su manejo sustentable. **Zonas Áridas** **15** (1): 1-16.
- Vallejo M., A. Casas, J. Blancas, Ana I. Moreno-Calles, L. Solís, S. Rangel-Landa, P. Dávila y O. Téllez. 2014. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: Indigenous culture and biodiversity conservation. **Agroforestry Systems** **88**(1): 125-140.
- Villaseñor JL (2003) Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. **Interciencia** **28**(3): 160-167.
- Zárate, S.; N. Pérez-Nasser y A. Casas. 2005. Genetics of wild and managed populations of *Leucaena esculenta* subsp. *esculenta* (Fabaceae: Mimosoideae) in La Montaña of Guerrero, Mexico. **Genetic Resources and Crop Evolution** **52**: 941-957.

# INVESTIGANDO PADRÕES E PROCESSOS GERADORES DA EXTRAORDINÁRIA DIVERSIDADE DA FLORA NEOTROPICAL, COM ÊNFASE NA AMÉRICA DO SUL

**José Rubens Pirani**

Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, São Paulo, Brasil.

[pirani@usp.br](mailto:pirani@usp.br)

Mais de um terço da diversidade mundial de plantas vasculares está restrita à Região Neotropical, que abrange a maior parte da América do Sul, além da América Central e sul do México. As estimativas apontam a Região Neotropical contendo mais espécies que as floras da África e Australásia juntas. A enorme diversidade florística da América do Sul está intrinsecamente associada à ampla heterogeneidade ecológica do continente, com paisagens variando de planícies a altas cordilheiras, e climática, com climas de tropicais a temperados e frios, áridos a hiperúmidos.

Porém, a história peculiar do continente, com seus eventos geológicos, climáticos e vegetacionais, foi determinante ao impulsionar a evolução particular de suas linhagens de plantas. Muitas famílias de angiospermas, por exemplo, embora amplamente distribuídas pelo mundo, possuem maior riqueza na América Tropical, onde está também seu centro de endemismos. E deve-se ressaltar que dentre os reinos florísticos mundiais, o Neotropical é o que tem o maior número de famílias endêmicas ou subendêmicas.

Sistematas, filogenistas, geneticistas, biogeógrafos e ecólogos persistem na busca de entendimento sobre quais fatores e processos estão envolvidos na determinação dos padrões de diversidade e distribuição geográfica observados na biota neotropical, e como esses padrões podem relacionar historicamente diferentes áreas biogeográficas. Para este fim, diversos táxons, relacionados proximalmente ou não, podem contribuir de maneira significativa na busca por congruências espaciais, para o entendimento de como áreas podem ter sido e estarem relacionadas entre si e qual a temporalidade envolvida nos processos que culminaram no panorama biogeográfico atualmente observado. Avanços robustos nesse sentido dependem fundamentalmente do conhecimento preciso da área de distribuição dos táxons e de filogenias robustas, com estimativas confiáveis da idade dos eventos cladogenéticos inferidos.

Apresentarei uma breve síntese do conhecimento a respeito dos principais eventos da evolução espaço-temporal e climática da América do Sul que influenciaram a formação dos diferentes padrões de evolução e diversificação exemplificados por alguns grupos da flora atual do continente. Partindo de uma seleção arbitrária de grupos taxonômicos (famílias e gêneros de angiospermas), comparo padrões encontrados visando a exemplificar algumas generalidades principais e incitar o futuro desenvolvimento de pesquisas. Os padrões biogeográficos observados atualmente devem ter sido gerados ao longo de milhões de anos por eventos de vicariância, dispersão, especiação e extinção, e esses processos têm atuado conjuntamente sobre continentes em constante movimentação, que sofrem com o efeito de alterações fisiográficas significativas, como soerguimento de cadeias

montanhosas, formação de bacias sedimentares e alterações do nível do mar, além de flutuações climáticas periódicas, em dados momentos levando até a eventos episódicos de extinção local ou ampla, parcial ou em massa.

Assim, para explicar a formação da elevada diversidade de plantas da América do Sul é fundamental contrastar os padrões evolutivos de seus principais clados com os principais eventos geoclimáticos do continente, especialmente nos últimos 100 Ma, período compreendido entre a separação da América do Sul e África e a recente conexão com a América Central via formação do istmo do Panamá. Principalmente nesse intervalo de tempo configuraram-se as múltiplas paisagens naturais do continente e sua composição florística atual. Particularmente, o isolamento da América do Sul das demais massas continentais após a fragmentação do supercontinente Gondwana (AS tornou-se um continente insular desde sua separação do continente antártico, há ca. 30 Ma, até o estabelecimento do istmo do Panamá entre o Mioceno e Plioceno), provavelmente imprimiu forte marca na flora sul-americana, e ajuda a explicar o fato de a Região Neotropical ser detentora do maior número de famílias endêmicas de angiospermas, como Cyclanthaceae, Marcgraviaceae, Caryocaraceae, Picrocramniaceae, Rhabdodendraceae e Cannaceae, e ao fato de cerca de 10 famílias de angiospermas possuírem centro de diversidade na América do Sul e serem quase exclusivas daqui.

Os eventos de orogenia, especialmente o soerguimento da cadeia andina mas também em outras partes do continente, assim como as transgressões marinhas e flutuações climáticas do Paléogeno e Neógeno, atuaram intensamente sobre a biota provocando tanto fragmentação (vicariância) como extinção e estimulando diversificação. Hoje já dispomos de vários exemplos de linhagens com filogenias conhecidas sugerindo histórias particulares. Quando comparadas, observa-se que algumas delas exibem padrões semelhantes e provavelmente contemporâneos, indicando processos causais gerais. Porém outras parecem bem contrastantes, sugerindo ou respostas idiosincráticas às mudanças no macroambiente ou padrões ainda insuficientemente documentados e mal compreendidos.


Modelos tradicionais bem conhecidos, como a Teoria dos Refúgios Pleistocênicos, que buscam explicar a extraordinária riqueza específica tropical, têm sido constantemente reavaliados. Um modelo mais recente incorporando uma visão integrativa da história de linhagens com adaptação e ecologia, contrasta a diversidade tropical com a das regiões temperadas preconizando um cenário de acúmulo de linhagens antigas exibindo conservantismo de nicho tropical, com raros eventos mais recentes de colonização bem sucedida de áreas extratropicais por mecanismos de evolução de nicho. Dispor de novas filogenias será possível avaliar criticamente essa hipótese e verificar quão expressivo (ou não) pode ter sido esse padrão na história da biota Neotropical.

Destacarei padrões filogenéticos e filogeográficos mostrando cenários prováveis de retração ou expansão e diversificação de algumas linhagens na Amazônia, no Cerrado, no Campo Rupestre e na Mata Atlântica, sobretudo de grupos de Sapindales, Leguminosae e Asteraceae. Alguns deles são dados originais e inéditos, corroborando ou não hipóteses vigentes de migrações e ocupação de novos biomas com conseqüente diversificação. Enquanto há casos que parecem ter experimentado irradiação explosiva, às vezes coincidente com a ocupação de diferentes biomas, outros grupos parecem ter permanecido pouco numerosos e restritos a áreas sujeitas a condições climáticas específicas.

Na esfera populacional, também é possível que as marcas de eventos ambientais (por exemplo paleoclimáticos) sejam notadas na estruturação genética (distribuição de alelos) e distribuição espacial de populações da mesma espécie ou de espécies próximas. Assim, análises filogeográficas já disponíveis de algumas espécies têm possibilitado avaliar (corroborando ou não) hipóteses de eventos ambientais pretéritos como causadores de isolamento espacial e interrupção de fluxo gênico entre populações, levando a aumento de divergência genética interpopulacional e diversificação.

Nesse quadro em que as flutuações paleoclimáticas são invocadas como geradoras de diversidade vegetal, tanto intraespecífica como específica, é importante contrastar grupos beneficiados ou





prejudicados em cada fase climática. Nas regiões tropicais, os períodos glaciais teriam impactado táxons de florestas úmidas, sobretudo pela redução da pluviosidade (e não da temperatura média), enquanto favoreciam a expansão geográfica de espécies de matas estacionais e formações abertas pela diminuição da disponibilidade hídrica ambiental. Já espécies montanas ou de latitudes maiores devem ter sido favorecidas e experimentado expansão nos momentos de resfriamento climático.

Os dados filogenéticos já compilados apontam para um mosaico complexo nos padrões biogeográficos na região Neotropical, com algumas poucas linhagens antigas diversificando desde o fim do Cretáceo e Paleógeno, muitas outras durante o Neógeno e um número expressivo (mas bem menor do que muitos supunham) durante o Pleistoceno. Precisamos ainda obter muitas mais histórias filogenéticas de clados neotropicais, e seguir adotando visão multidisciplinar e integradora para entender como mudanças climáticas e paleogeográficas podem ter contribuído com a formação histórica da rica biota neotropical e em especial a sulamericana.



A detailed botanical illustration of a plant branch, featuring several large, ovate leaves with prominent venation and serrated margins. The branch also bears a cluster of small, tubular flowers or fruits. The illustration is rendered in a light green, semi-transparent style against a background of fine, light green diagonal lines.

# **PARTE 2**



# MÉTODOS DE AMOSTRAGEM QUALI E QUANTITATIVOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

**Fernando Alves Ferreira, Vali Joana Pott & Arnildo Pott**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal.

[ferreirabot@gmail.com](mailto:ferreirabot@gmail.com)

## Introdução

Raros são os trabalhos que procuraram normatizar padrões sobre métodos de amostragem quali ou quantitativos para “macrófitas aquáticas” (Thomaz *et al.* 2004; Pedralli 1990). Isso se deve ao fato, de que a definição de macrófitas sempre foi um assunto controverso na literatura especializada variando de acordo com diferentes autores. Como consequência direta, existe uma falta de uniformidade em métodos e nomenclatura, ao ponto de ser impossível comparar ao menos dois distintos trabalhos realizados sobre o mesmo assunto por dois especialistas diferentes (Irgang 1999).

Soma-se a isso, a existência de uma grande diferença na velocidade de evolução entre agrupamentos vegetais aquáticos e os de ambientes mais secos, terrestres. Enquanto os fenômenos biológicos em uma floresta “madura” quase não são percebidos em um período correspondente à uma geração humana, em uma área aberta de água, como um lagoa ou rio, a variação da presença e a ausência de espécies vegetais pode se dar em minutos (Irgang 1999).

Assim, a descrição de comunidades vegetais aquáticas, de maneira geral, capta somente momentos determinados em sua evolução temporal e espacial, e que, portanto, vale somente para este determinado momento, sugerindo-se então, a importância do monitoramento dessa comunidade nos estudos técnicos científicos.

Todavia, mesmo com a ausência de padronizações para a mensuração das macrófitas aquáticas, uma compilação realizada por Thomaz & Bini (2003), sobre os estudos que utilizaram macrófitas no Brasil, evidenciou o predomínio de trabalhos sob o enfoque em levantamentos florísticos.

Neste sentido, atualmente existe uma base legal regulamentada pela Agencia Nacional de Águas – através da Resolução nº 621, de 19 de novembro de 2010, a qual normatiza que todos os Projetos Básicos Ambientais (PBA’s) façam a inclusão de um Plano de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas. Portanto, a implicação mais grave é que a utilização de espécies deste grupo vem sendo efetuada sem o devido embasamento técnico, o qual muitas das vezes tem criado sérios problemas ambientais (Ferreira *et al.* 2011).

Dessa forma, pretende-se nesse trabalho além de ratificar as considerações consagradas na literatura especializada em relação à definição de macrófitas aquáticas em áreas úmidas (*wetlands*), conceituação, formas biológicas, dispersão e distribuição geográfica, discutir alguns métodos quali-quantitativos de amostragem para fins de estudos ambientais preferencialmente técnicos científicos.

## Definição

Dentre as várias definições para o grupo de “plantas aquáticas” encontradas na literatura cabe destacar três, que se referem as espécies vegetais que ocorrem nos ambientes aquáticos. Para Ho-

ehne (1948) “todos os vegetais que para sua sobrevivência e propagação requerem mais água do que os recursos do solo ou que, embora firmados neste, não podem dispensar o líquido em maior proporção, bem como aqueles que, independentes do firme, vivem vagando nos mares, oceanos, lagoas, baías e rio, são **plantas aquáticas**”.

Cook (1974) introduziu o termo **macrófitas aquáticas** definidas como “todas as plantas cujas partes fotossinteticamente ativas estão, permanentemente ou por alguns meses, submersas ou flutuantes em água e sejam visíveis a olho nu”.

Font-Quer (1977) definiu de forma simples que “toda planta aquática com órgãos assimiladores submersos ou flutuantes é um **hidrófito**”.

Dentre todas as definições existentes a de Cook (1974) ao nosso ver é a mais adequada e abrangente para esse grupo de plantas e é esta terminologia que será utilizada no presente trabalho.

## Sistemas de Classificação

Vários os sistemas de classificação foram já propostos, por diversos pesquisadores, em especial taxonomistas e ecólogos, para as macrófitas aquáticas.

Para nossas áreas úmidas, a primeira proposta de classificação das plantas aquáticas foi de Warming (1892) que estudando espécies em Lagoa Santa (MG), separou-as em três grupos principais, segundo o habitat: ‘hidrófitas’, ‘mais terrestres’ e ‘meio aquáticas’.

Posteriormente, vários outros sistemas de classificação foram propostos, a partir de critérios variados, morfológicos, ecológicos, fitogeográficos, etc; podendo-se citar como mais significativos os de Haslam (1978), Haslam & Wolseley (1981), Irgang *et al.* (1984), Pedralli (1990) e Pivari (2011).

### *Formas biológicas*

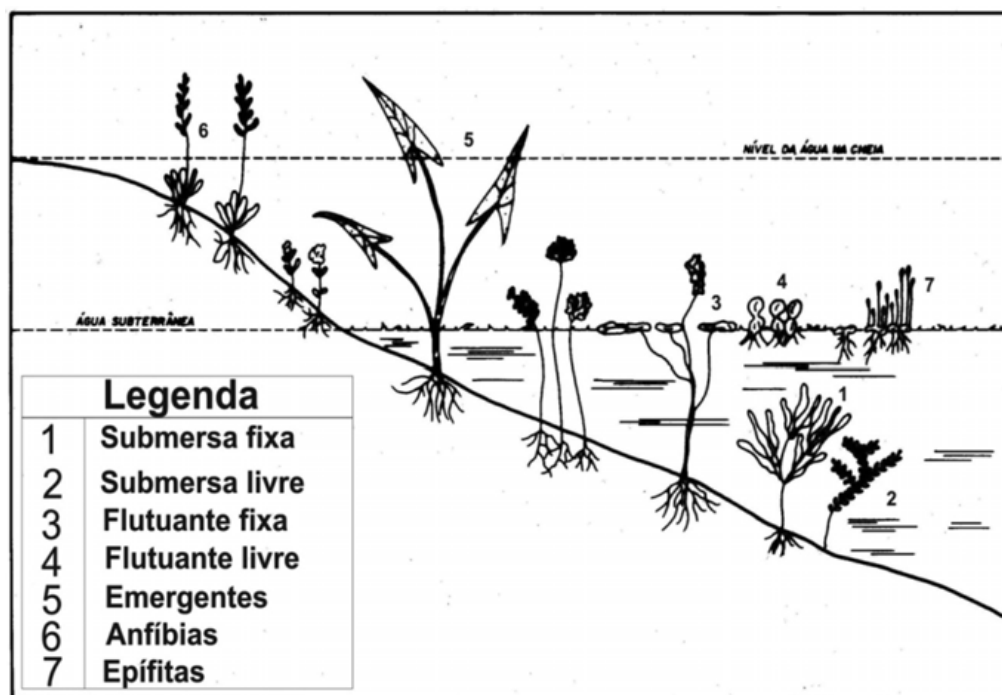
Formas biológicas (biótipos, biotipos) “são categorias dentro das quais se incluem os vegetais, com qualquer posição sistemática, que concordam fundamentalmente em sua estrutura morfo-biológica e de um modo especial nos caracteres relacionados com a adaptação ao ambiente ecológico” (Font Quer 1977). Essa definição está estritamente relacionada com a fisionomia da vegetação que corresponde ao conjunto dessas formas, definidas com maior ou menor precisão (árvores, arbustos, ervas, lianas, epífitas, etc.) e utilizadas pelos ecólogos para a análise e classificação das comunidades vegetais terrestres.

Com relação as macrófitas aquáticas várias propostas de classificação das formas biológicas tem sido apresentadas, utilizando-se como referencial as formas biológicas terrestres. Essas adaptações não contemplam todas as macrófitas aquáticas, exatamente pela falta de dados sobre autoecologia e sinecologia dessas plantas, que vivem em zonas úmidas, em especial nas áreas ecotonais, isto é, de transição entre os ambientes terrestres e aquáticos, ou ainda, em águas salobras, na transição entre as águas salgadas (marinhas) e as doces (continentais).

Dentre as várias propostas de classificação das formas biológicas das macrófitas aquáticas, apresenta-se uma que vem sendo aperfeiçoada desde a década de 70, e que se originou dos trabalhos de Irgang *et al.* (1984), desenvolvidos inicialmente nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul (Brasil), em especial na área de Estação Ecológica do Taim. Posteriormente, incorporou-se as observações de zonas úmidas de todo o Brasil, principalmente da Amazônia e Pantanal, de países limítrofes como a Argentina, Uruguai, Bolívia e Peru e de outros países (México, Espanha e Austrália), na tentativa de universalizar a classificação.

Nessa proposta (Figura 1), todas as macrófitas aquáticas são incluídas em sete formas biológicas principais: submersas fixas (SF), submersas livres (SL), flutuantes fixas (FF), flutuantes livres (FL), emergentes (EM), anfíbias (AN) e epífitas sobre flutuantes livres (EFL). Dentre as muitas espécies de macrófitas aquáticas pode-se citar exemplos de espécies nativas e exóticas para cada forma biológica:

- ▶ **Submersas livres** - Chara spp e Nitella spp. Utricularia foliosa, comuns nos ambientes lênticos brasileiros;
- ▶ **Submersas fixas** - Egeria densa, Hydrilla verticillata, Ceratophyllum demersum, Najas con-ferta, Isoetes ekmanii, Elanthium tenellus, Vallisneria spiralis, Mourera aspera, Castelnavia princeps, Potamogeton illinoensis, Ruppia maritima;
- ▶ **Flutuantes fixas** - Victoria amazonica (vitória-régia), Nymphaea amazonum (lótus), Nymphoi-des indica, Marsilea deflexa, Limnobium laevigatum, Cabomba haynesii, Paspalum repens, Ludwigia helminthorrhiza, Ludwigia sedoides;
- ▶ **Flutuantes livres** - Eichhornia crassipes (aguapé), Salvinia auriculata (murerê), Pistia stratio-tes (alface d'água), Azolla pinnata, Ricciocarpus natans, Lemna aequinoctialis, Wolffia bra-siliensis, Phyllanthus fluitans;
- ▶ **Emergentes** - Echinodorus grandiflorus (chapéu-de-couro), Pontederia cordata, Thalia geni-culata, Typha domingensis, Ludwigia lagunae, Polygonum ferrugineum, Hedychium corona-rium (lírio-d'água), Hibiscus sororius, Cyperus giganteus;
- ▶ **Anfíbias** (são as formas biológicas mais comuns) - Commelina nudiflora, Pfaffia glomerata, Alternanthera philoxeroides, Canna glauca, Sapium glandulatum, Bacopa salzmanii, Ipomoea carnea (algodão-bravo), Enydra anagalis, Pacourina edulis;
- ▶ **Epífitas sobre flutuantes livres** (formas biológicas mais raras) – Oxycaryum cubense, Utri-cularia gibba (boca-de-leão-do-banhado), Habenaria repens, Rhynchanthera novemnervia.



**Figura 1.** Formas biológicas das macrófitas aquáticas (Pedralli 1990).

## Dispersão e distribuição geográfica

As macrófitas aquáticas são dispersas principalmente pelos animais sendo que o homem ocupa um importante papel nesse processo, por transportá-las para vários fins, tais como cultivo para alimentação, ornamental, despoluição de efluentes líquidos, produção de biogás, etc.

Nesse aspecto temos contribuído de forma significativa para a disseminação de espécies aquáticas invasoras como *Eichhornia crassipes* e *Eichhornia azuera* – aguapés, *Pistia stratiotes*, *Salvinia* spp., *Hedychium coronarium*, *Ceratophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata*, *Urochloa arrecta*, entre outras, que podem favorecer a formação de habitats para vetores de doenças de veiculação hídrica.

As macrófitas aquáticas ocorrem em todos os continentes da terra excetuando o Ártico e a Antártida, sendo que a maior diversidade específica é encontrada atualmente nas regiões subtropicais e temperadas, graças ao mosaico ambiental que apresentam (Chambers, *et al.* 2008).

## Métodos de estudo

Através dos dados bibliográficos, informações cartográficas e pessoais, fotos e de um reconhecimento da área em estudo, pode-se definir os pontos de coleta da rede de amostragem. Conforme o enfoque e objetivos do trabalho pode-se utilizar de diferentes métodos (Thomaz *et al.* 2004).

### Método Qualitativo

Este método só permite uma análise florística dos habitats amostrados sendo mais utilizado para este fim as coletas aleatórias (Figura 2). Pode ser utilizado em todos os cursos d'água naturais e artificiais, sendo limitado por não permitir uma avaliação numérica dos indivíduos.

Os produtos deste método são apresentados através de uma listagem dos "taxa" e as espécies podem ser plotadas em bases cartográficas e em perfis de vegetação (Figuras 3 e 4). Recentemente, o uso de câmeras fotográficas com GPS (global position system) acoplado permite exportar imagens georreferenciadas com a localidade de ocorrência de diferentes espécies no ambiente amostrado (Figura 5).

### Método Quantitativo

Estes permitem, além de análise florística, uma visão numérica, quantitativa da vegetação. São vários os métodos que podem ser utilizados para a análise quantitativa, sendo mais comuns os das transecções e das parcelas, ou associados (Ferreira *et al.* 2010).

#### a) Parcelas

São demarcadas em campo áreas de 3,0 X 3,0 m contínuas a partir de um ponto pré-determinado, até se encontrar a área mínima da associação. Nestas parcelas devem ser demarcadas paralelas às margens dos corpos d'água, sendo 1,5 m da margem para dentro d'água e 1,5 m da margem para fora (Figura 6).

Deve-se realizar coletas de material vegetal e dados abióticos como profundidade e transparência do disco de Secchi, no mínimo, nos períodos de cheia e seca, durante um ciclo hidrológico. As espécies identificadas poderão ser plotadas em perfis e mapas de distribuição dos indivíduos (Figura 7), e a densidade, ou seja, o número de indivíduo de cada espécie por unidade de área, determinada através da fórmula:





**Figura 2.** Coletas aleatórias de macrófitas aquáticas em vários tipos de ambientes aquáticos continentais e em diversos biomas brasileiros.

$$\text{densidade} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de macrófitas sp "X"}}{\text{n}^\circ \text{ de parcelas} \times \text{área de uma parcela}}$$

Deve-se ficar atento às particularidades das formas flutuantes livres que participando dos cálculos de densidade e distribuição, só dão uma visão geral da cobertura vegetal, no exato período de amostragem principalmente nos ambientes lóticos.

Além dos dados de densidade, os mapas de distribuição espacial das espécies e perfis da vegetação amostrada, apresenta-se, também como resultado, uma lista de "*taxa*" e que sejam obrigatoriamente identificados por especialistas sênior.

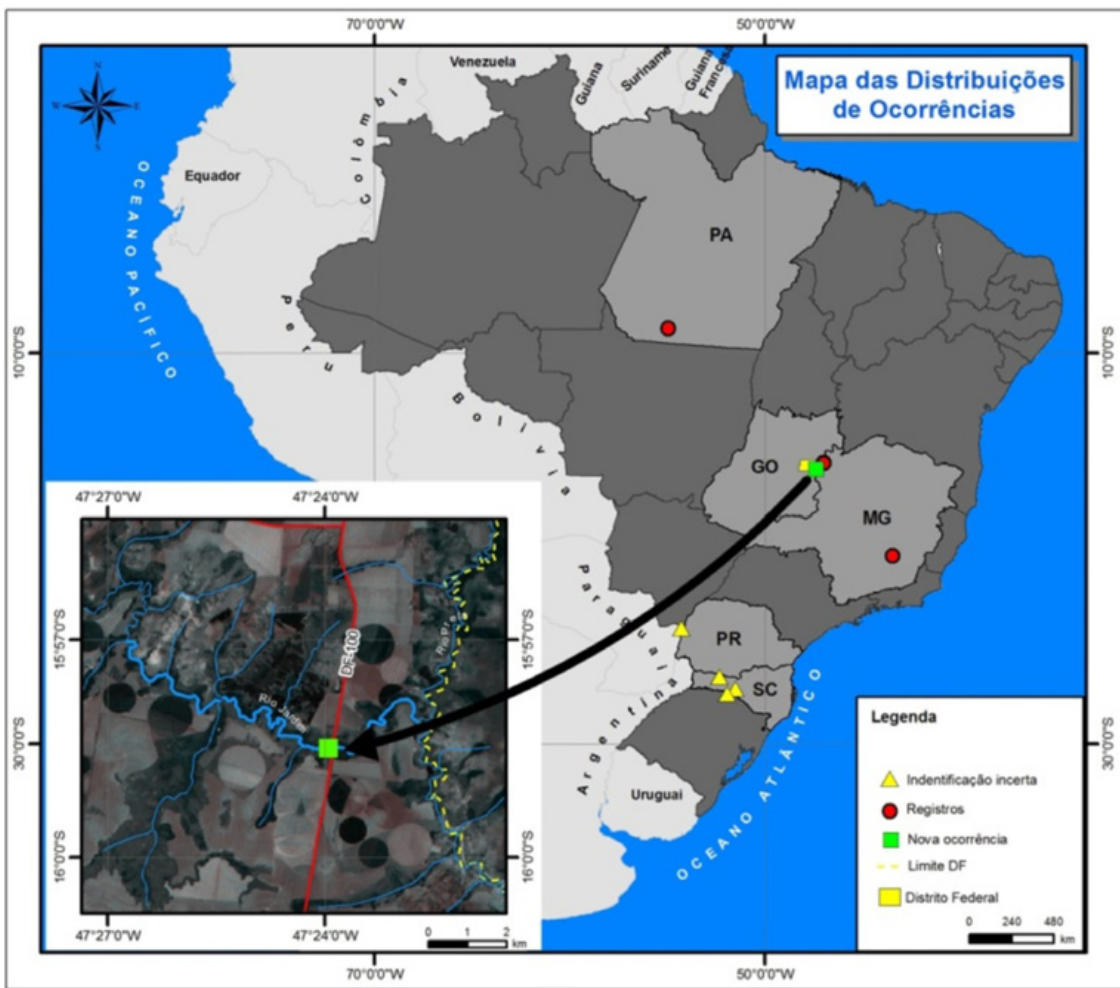


Figura 3. Distribuição de *Apinagia fucoides* (Ferreira, et al. em prep.).

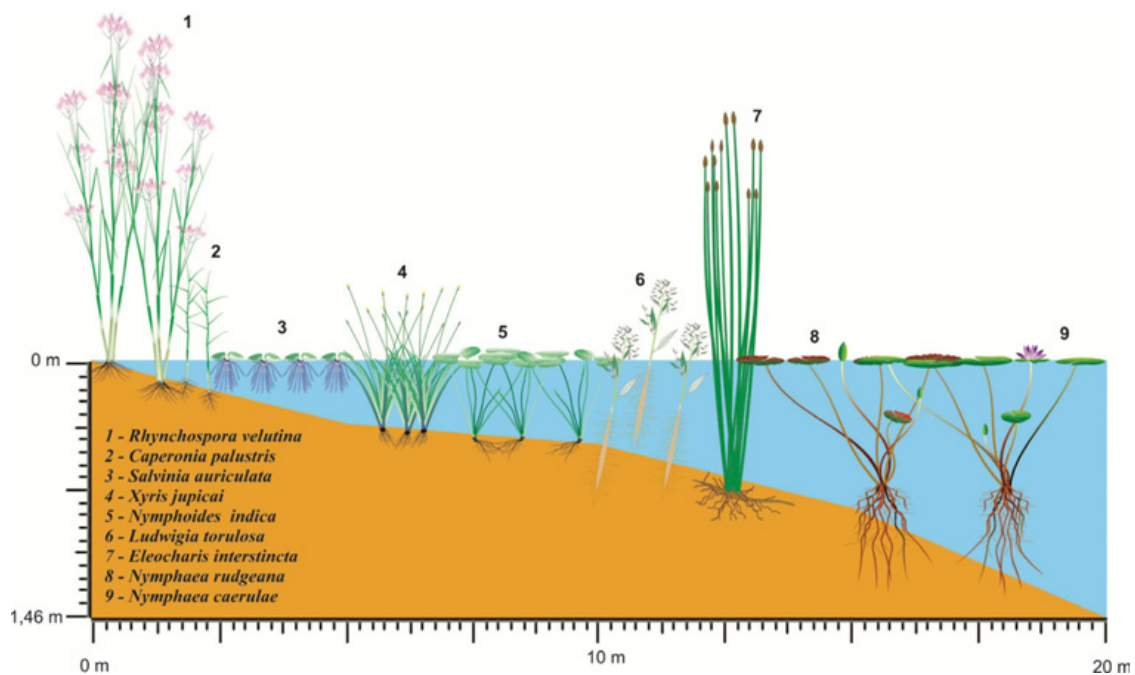
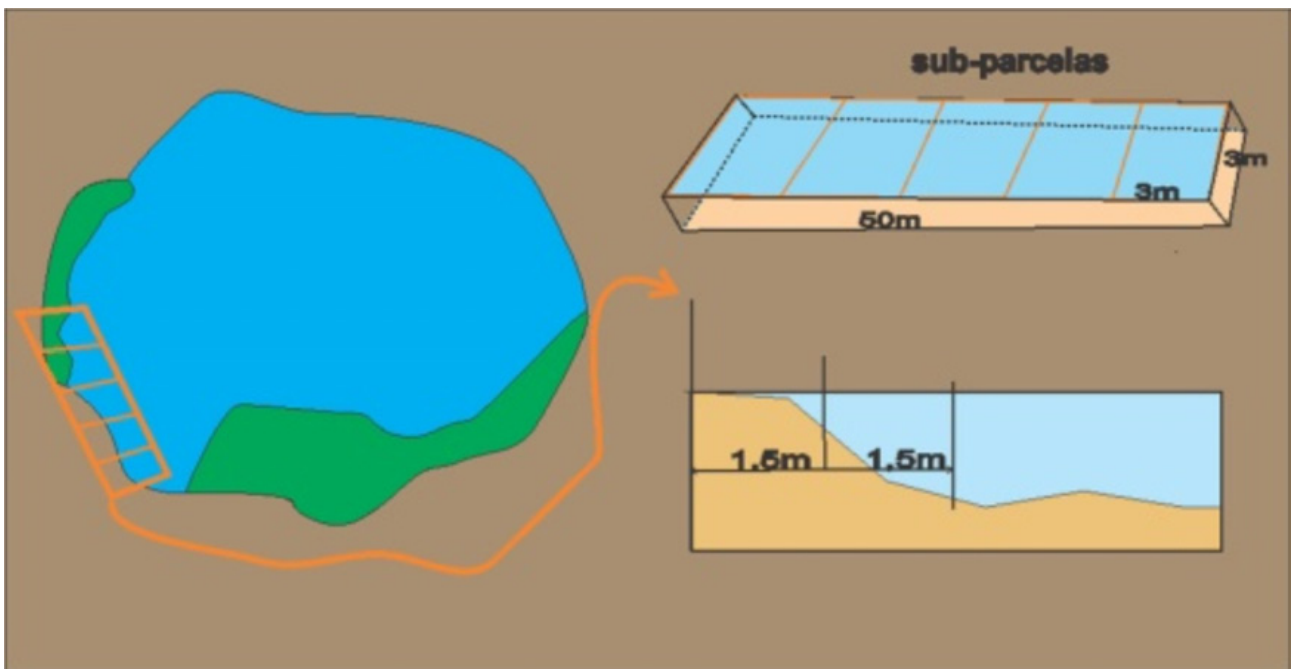


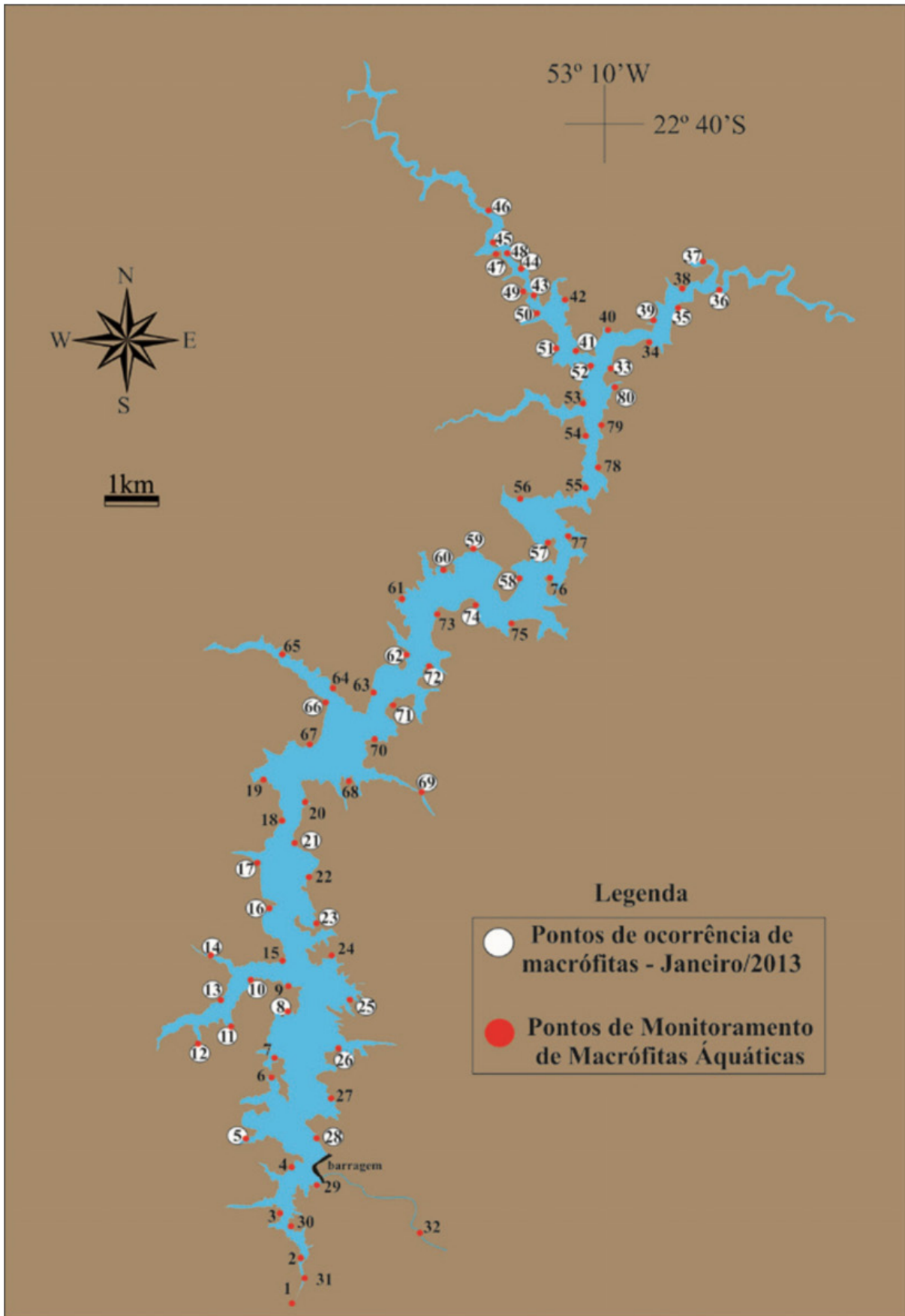
Figura 4. Perfil da vegetação aquática da lagoa Dom Helvécio (MG), retirado de Ferreira et al. (2009).



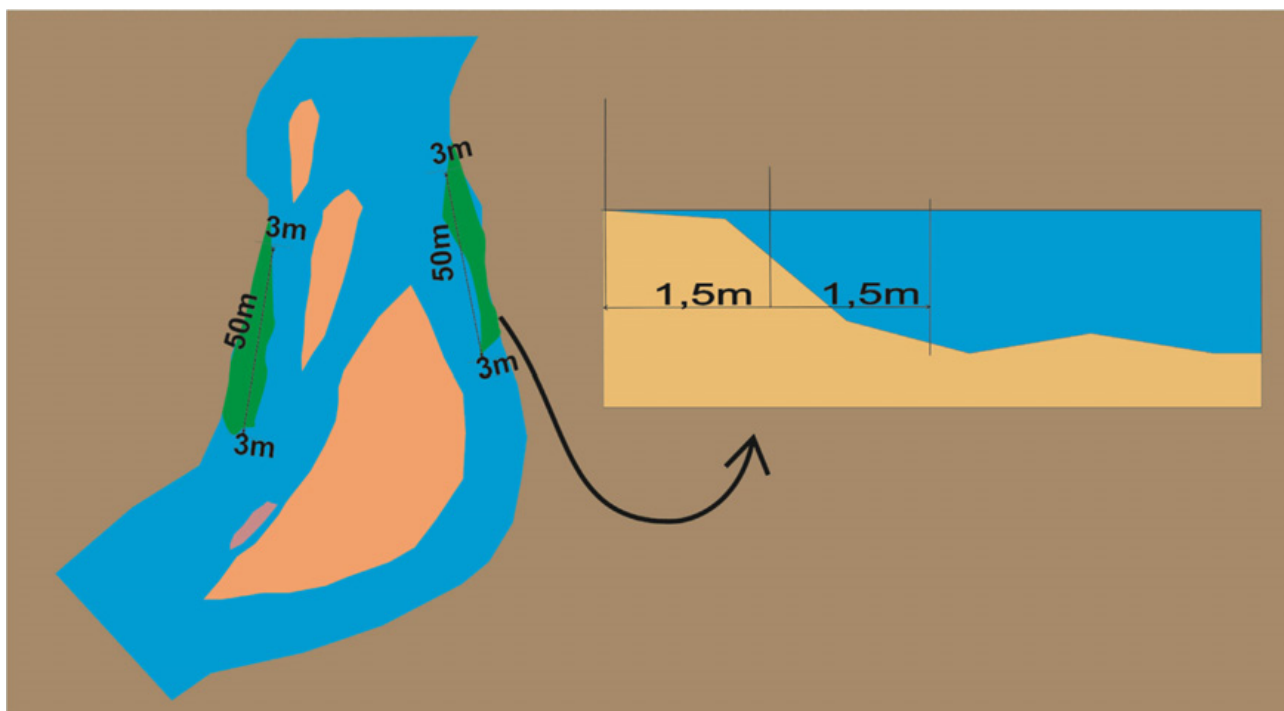
**Figura 5.** Exemplo de uma imagem exportada da comunidade de macrófitas aquáticas em mapa georreferenciado.



**Figura 6.** Método de parcela (Pedralli 1990).



**Figura 7.** Mapa hipotético de ocorrência de macrófitas aquáticas durante monitoramento a longo prazo. Fonte pessoal (sugerimos alterar para: Fonte – F.A.Ferreira, arquivo pessoal).



**Figura 8.** Método de transecção (Pedralli 1990).

### **b) Transecções**

A partir de um ponto de referência estabelece-se a transecção (de 3,0 x 50,0 m) com um cordão de nylon, paralelamente às 2 margens dos cursos d'água, sendo 1,5m da margem para dentro d'água e 1,5 m da margem para fora d'água (Figura 8).

As coletas de material vegetal e dados abióticos devem ocorrer, no mínimo, nos períodos de cheia e seca, em um ciclo hidrológico completo.

Em ambientes lênticos utiliza-se o mesmo método, ao longo do perímetro do corpo d'água, sendo que o número de transecções deve ser adequado aos objetivos do trabalho. Em reservatórios deve-se compatibilizar o número de áreas de amostragem com os trechos lênticos e lóticos da bacia onde está localizado.

A distribuição das macrófitas observada em campo deve ser plotada em mapas e perfis da vegetação e a densidade ou número de indivíduos por unidade de área determinada, como abaixo:

$$\text{densidade} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de macrófitas sp "X"}}{\text{n}^\circ \text{ de transecções} \times \text{área de uma transecção}}$$

Deve-se do mesmo modo, ficar atento às particularidades das formas flutuantes livres, que participando dos cálculos de densidade e distribuição, só dão uma visão real da cobertura vegetal, no período de amostragem, principalmente nos ambientes lóticos.

Além dos dados de distribuição, da cobertura vegetal da superfície amostrada e da densidade apresenta-se uma lista contendo os *taxa* identificados, como resultados.

Conclui-se então, que os métodos adotados para mensurar as assembléias de macrófitas aquáticas devam priorizar os objetivos propostos, pois existe uma grande variabilidade de habitats colonizados por macrófitas aquáticas, bem como, de formas biológicas associados às áreas úmidas. Recomenda-se a presença de um especialista sênior na equipe de campo, além disso, as coletas para caracterização de uma área úmida devem ser iguais ou superiores a um ciclo hidrológico.

## Referências

- Chambers, P. A., Lacoul, P., Murphy, K.J., & Thomaz, S.M. 2008. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. **Hydrobiologia** **595**: 9-26.
- Cook, C.D.K. 1974. **Water plants de world**. Dr. W. Junk b.v., Publishers, The Hague.
- Ferreira, F.A., Mormul, R.P., Pedralli, G., Pott, V.J. & Pott, A. 2010. Estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas em três lagoas do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Hoehnea** **37**: 43-52.
- Ferreira, F.A., Mormul, R.P., Thomaz, S.M., Pott, A. & Pott, V.J. 2011. Macrophytes in the upper Paraná river floodplain: checklist and comparison with other large South American wetlands. **Revista de Biologia Tropical** **59**: 541-556.
- Font-Quer, M.P. 1977. **Diccionario de botânica**. Barcelona, Lábor.
- Haslam, S.M. 1978. **River Plants: the macrophytic vegetation of watercourses**. Cambridge, University Press.
- Haslam, S.M. & Wolseley, P.A. 1981. **River vegetation: its identification, assessment and management**. Cambridge, Universty Press.
- Hoehne, F.C. 1948. **Plantas aquáticas**. São Paulo, Instituto de Botânica.
- Irgang, B.E. 1999. **Comunidades de macrófitas aquáticas da Planície costeira - Um sistema de classificação**. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- Irgang, B.E.; Pedralli, G. & Waechter, J.L. 1984 Macrófitas Aquáticas da estação ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. **Rossléria** **6**: 395-405
- Pedralli, G. 1990. Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudos. **Estudos de Biologia** **26**: 5-24.
- Pivari, M.O.; Oliveira, V.B.; Costa, F.M.; Ferreira, R.M. & Salino, A. 2011. Macrófitas aquáticas do sistema lacustre do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguesia** **62**. 759-770.
- Thomaz, S.; Bini, L.M. & Pagioro, T.A. 2004. Métodos em Limnologia: Macrófitas Aquáticas. Pp.193-212. In: Bicudo, C.E. & Bicudo, D.C. (Eds.). **Amostragem em Limnologia**. São Carlos, Rima.
- Thomaz, S.M. & Bini, L.M. 2003. Análise crítica dos estudos sobre macrófitas aquáticas desenvolvidos no Brasil. Pp.19-38. In: Thomaz, S.M. & Bini, L.M. (Eds.). **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Maringá, Eduem.
- Warming, E. & Ferri, M.G. 1892. **Lagoa Santa e a vegetação de cerrados**. Belo Horizonte, Itatiaia, São Paulo, Edusp.

# ESTUDOS SISTEMÁTICOS EM NYMPHAEALES

**Carla Teixeira de Lima**

Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Feira de Santana, Bahia, Brasil.

[carlabotanica@yahoo.com.br](mailto:carlabotanica@yahoo.com.br)

## História Taxonômica e Sistemática da Ordem Nymphaeales

A ordem Nymphaeales inclui cerca de 80 espécies e a sua composição ainda é tema de discussão, contudo, estudos filogenéticos com base em dados morfológicos associados a várias regiões do genoma nuclear e mitocondrial têm ajudado a esclarecer a composição da ordem. O grupo Nymphaeales é apoiado por uma série de sinapomorfias, muitas das quais associadas ao hábito herbáceo e adaptações a vida aquática. A ordem é amplamente distribuída e ocorre desde as regiões tropicais até as temperadas e suas espécies ocupam rios, lagoas, lagos e outras formações de água doce (Borsch *et al.* 2008; Löhne *et al.* 2008).

Mesmo antes do advento dos estudos moleculares, estudos morfológicos das espécies de Nymphaeales já a enquadravam junto às angiospermas mais antigas, baseando-se principalmente na teoria antostrobilar. Bessey (1915) foi o primeiro a construir uma classificação de plantas supostamente filogenéticas; em sua classificação as Nymphaeales permaneceram como uma das cinco linhagens das Magnoliidae (Magnoliales, Laurales, Piperales, Nymphaeales e Ranunculales-Papaverales.), na base da árvore das plantas com flores. Posteriormente, taxonomistas considerados modernos como Cronquist (1988) e Dahlgren (1983) seguiram Bessey (1915) com poucas inovações. A partir da década de 90 e nos anos seguintes, estudos convergiram para inferir Nymphaeales como a segunda ramificação após Amborellaceae na árvore das angiospermas (Ito 1987; Qui *et al.* 1999; Soltis *et al.* 1999; Borsch 2000), e junto com Illiciales, Trimeniaceae e Austrobaileyaceae compõe o grado ANITA (Qui *et al.* 1999; Borsch *et al.* 2000, 2007, 2008).

O posicionamento basal das Nymphaeales vem sendo bem sustentado por dados morfológicos, dados moleculares e fósseis (Qui *et al.* 1999; Soltis *et al.* 1999; Friis *et al.* 2001; Gandolfo *et al.* 2004; Borsch 2000; Borsch *et al.* 2007, 2008; Löhne *et al.* 2008). Esta posição vem contribuindo com a compreensão das angiospermas ancestrais o que justifica o grande interesse no grupo e as alterações internas da ordem ao longo de décadas de estudos. Compreender as relações internas de Nymphaeales soma mais uma peça no quebra-cabeça da história evolutiva das angiospermas.

## História Taxonômica e Sistemática dentro de Nymphaeales

Dentre as classificações ao nível de ordem, Caspary (1891) compreendia Nymphaeaceae como a única família da ordem. Esta classificação foi amplamente difundida e utilizava caracteres florais, sobretudo, caracteres do gineceu para separar os grupos dentro de Nymphaeales. Hoehne (1948) segue esta classificação no livro, Plantas Aquáticas, e só mais de 20 anos depois Den Hartog (1970) publicou *Ondinea* como novo gênero da família, e alterou a classificação da ordem.

Les *et al.* (1999) realizaram a mais abrangente análise filogenética da ordem até então, a partir de análise combinada de dados anatômicos/morfológicos e de sequência de DNA de uma espécie de cada gênero. A análise não testou a ordem como monofilética, contudo, definiu duas famílias monofiléticas, sendo elas Cabombaceae e Nymphaeaceae (Fig. 1).

Saarela *et al.* (2007), a partir de dados moleculares e morfológicos, incluindo angiospermas basais, eudicotiledôneas basais e monocotiledôneas, observou a íntima relação entre a ordem Nymphaeales com Hydatellaceae, uma família de pequenas plantas aquáticas, restrita a Australásia e Índia, que até então encontrava-se na ordem Poales. Saarela *et al.* (2007) não classificou formalmente a família Hydatellaceae na ordem Nymphaeales, mas em trabalhos posteriores (Borsch *et al.* 2008; Taylor 2008) Hydatellaceae foi posicionada dentro da ordem Nymphaeales.

Borsch *et al.* (2008) é considerado o estudo filogenético mais completo da atualidade, e definiu a ordem em três famílias: Nymphaeaceae com seis gêneros: *Barclaya* Wall., *Euryale* Salisb., *Nuphar* Sm., *Nymphaea* L., *Ondinea* Hartog e *Victoria* Lindl., Cabombaceae com dois gêneros: *Brasenia* Schreb. e *Cabomba* Aubl. e Hydatellaceae com dois gêneros: *Hydatella* Diels e *Trithuria* Hook f. (Borsch 2008; Löhne 2008). (Fig. 2)

## Filogenia molecular e as relações internas em Nymphaeales (Estudo de Caso)

Borsch *et al.* (2008) realizaram a filogenia de Nymphaeales utilizando dados moleculares e morfológicos combinados de 24 espécies da ordem, representando todos gêneros de Cabombaceae e Nymphaeaceae e os cinco subgêneros dentro do gênero *Nymphaea* (*Anecphyta*, *Brachyceras*, *Hydrocallis*, *Lotus* e *Nymphaeae*). Hydatellaceae foi adicionado graficamente baseado em Saarela *et al.* (2007). Amborellaceae, Austrobaileyales (*Austrobaileya*, *Illicium*, *Schisandra*) foram adicionados como grupo externo em uma das análises.

Dentro de Nymphaeales, Hydatellaceae aparece como grupo irmão de Cabombaceae e Nymphaeaceae, que formam grupos monofiléticos. O gênero *Nuphar* aparece como o primeiro ramo e *Barclaya* como o segundo a surgir em Nymphaeaceae. O clado *Victoria-Euryale* forma o grupo irmão do gênero *Nymphaea*. A arquitetura complexa de flores e folhas desses gêneros (*Euryale*, *Victoria* e *Nymphaea*) indica que estes não são organismos primitivos. Juntos, os três gêneros (e *Ondinea*), representam o clado mais derivado dentro da ordem.

Os estudos filogenéticos indicam que *Nymphaea* é um grupo parafilético, onde o gênero *Ondinea* está intimamente relacionado com o subgênero *Anecphyta*. Os subgêneros *Hydrocallis* e *Lotus* são

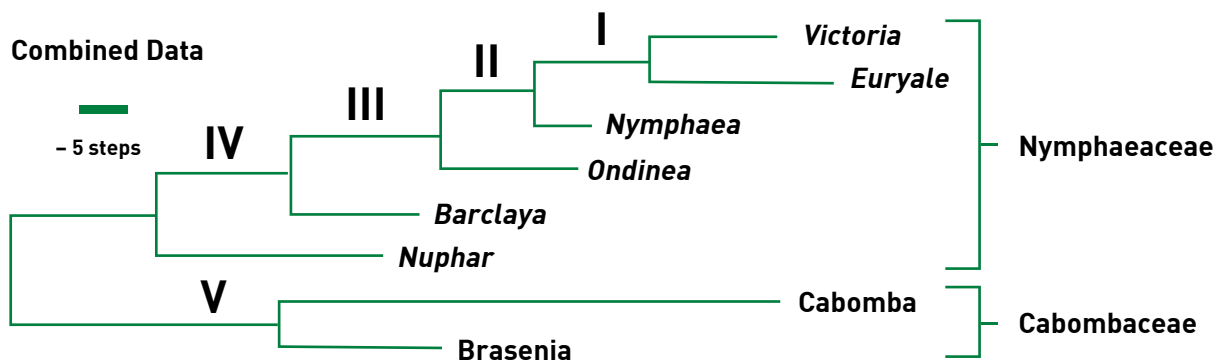


Figura 1. Árvore da filogenia de Nymphaeales derivada da análise de dados combinados.

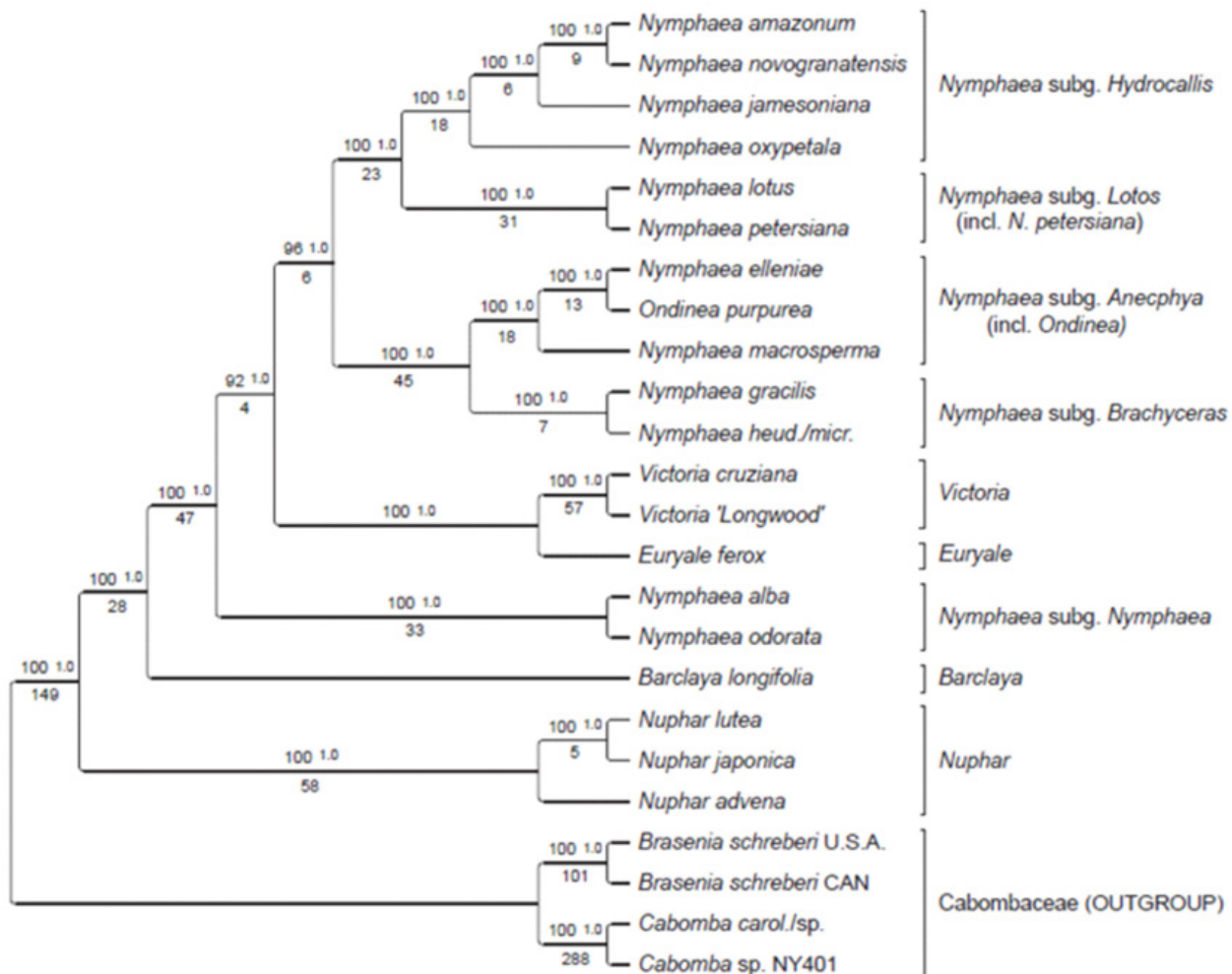




**Figura 2.** Representantes das Nymphaeales. A) *Victoria cruziana*; B) *Cabomba aquatica*; C) *Victoria amazonica*; D) *Cabomba caroliniana*; E) *Nymphaea vanillidae*; F) *Nymphaea lasiophylla*.

monofiléticos, sendo que *Lotus* forma o grupo irmão do subg. *Hydrocallis*. Essa relação é sustentada pelos caracteres morfológicos como carpelos sincápicos, anteras inseridas medianamente sobre os estames e flores com antese noturnas (Fig. 3).

Atualmente há um embasamento maior sobre as relações evolutivas de Nymphaeales, que foi favorecida a partir de análises de dados de seqüências de DNA e integração de dados morfológicos. O estudo de Borsch *et al.* (2008) foi o primeiro a analisar a evolução dos caracteres fenotípicos baseado em uma ampla amostragem de táxons de Nymphaeales e outras linhagens iniciais de angiospermas. O ponto chave desse trabalho foi o entendimento de que a adaptação à forma de vida aquática foi influenciada pela evolução das Nymphaeales com o surgimento de uma grande complexidade morfológica. Mais estudos com o compilamento de dados podem fornecer outras novidades sobre as relações internas em Nymphaeales, principalmente com o gênero *Nymphaea* seus subgêneros e sua relação com *Ondinea* que ainda gera dúvida. No entanto, o trabalho de Borsch *et al.* (2008) deixa uma grande contribuição para o estudo dentro da ordem Nymphaeales.



**Figura 3.** Filogenia de Nymphaeales com base em dados de seqüência combinados de todos os compartimentos genômicos (cloroplasto PETD, rpl16 e introns trnK, trnT-trnF região, e matK; MATR mitocondrial, nuclear, a sua região). Árvores foram enraizadas com Cabombaceae porque ITS nuclear não poderia ser alinhado além Cabombaceae e Nymphaeaceae.

## Referências

- Bessey, C.E. 1915. The phylogenetic taxonomy of flowering plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden** 2: 109-164.
- Borsch, T. 2000. Phylogeny and evolution of the genus *Nymphaea* (Nymphaeaceae). **Botanical Institute**. Bonn, University of Bonn.
- Borsch, T.; Hilu, K.W.; Wiersema, J.H.; Löhne, C.; Barthlott, W. & Wilde, V. 2007. Phylogeny analysis of *Nymphaea* (Nymphaeaceae): Evidence from substitution and microstructural changes in the chloroplast trnT-trnF region. **International Journal of Plant Sciences** 268: 639-671.
- Bosch, T.; Löhne, C.; Wiersema, J.H. 2008. Phylogeny and evolutionary patterns in Nymphaeales: integrating genes, genomes and morphology. **Taxon** 57: 1052-1081.
- Caspey, R. 1878. Nymphaeaceae. In C.F.P. Martius (ed.) **Flora Brasiliensis**. Monachi. v. 4 (1-2): 120-184.
- Cronquist, A. 1988. **The evolution and classification of flowering plant**. 2° ed. New York Botanical Garden, New York.
- Dahldren, R.M.T. 1983. General aspects of angiosperm evolution and macrosystematics. **Nordic Journal Botany**. 3: 119-149.
- Den Hartog, C. 1970. "Ondinea, a new genus of Nymphaeaceae." **Blumea** 18: 413-417.
- Friis E.M.; Pedersen, K.R. & Crane, P.R. 2001. Fossil evidence of water lilies (Nymphaeales) in the Early Cretaceous. **Nature International Weekly Journal of Science** 410: 357-360.
- Gandolfo, M.A.; Nixon, K.C. & Crepet, W.L. 2004. Cretaceous flowers of Nymphaeaceae and implications for complex insect entrapment pollination mechanism in early Angiosperms. **Proceeding of the National Academy of Sciences (USA)** 101 (21): 8056-8060.
- Hoehne, F.C. 1948. **Plantas Aquáticas**. Secretaria da Agricultura de São Paulo, São Paulo.
- Ito, M. 1987. Phylogenetic systematic of the Nymphaeales. **Botanical Magazine (Tokyo)** 100:17-35.
- Les, D.H.; Schneider, E.L.; Padgett, D.J.; Soltis, P.S.; Soltis, D.E. & Zanis, M. 1999. Phylogeny, classification and floral evolution of water lilies (Nymphaeaceae, Nymphaeales). A synthesis of non-molecular, rbcL, matK and V DNA data. **Systematic Botany** 24: 28-46.
- Löhne, C.; Yoo, M.Y.; Borsch, T.; Bele, C.D.; Wiersema, J.H.; Wilde, V.; Soltis, P.S.; Soltis, D.E. & Barthlott, W. 2008. Biogeography of Nymphaeales – extant patterns and historical events. **Taxon** 57: 1123-1246.
- Qui, Y.L.; Lee, J.; Bernasconi-Quadroni, F.; Soltis, P.S.; Zanis, M.; Zimmer, E.A.; Chen, Z.; Sovalainen, V. & Chase, M.W. 1999. The earliest angiosperms: evidence from mitochondrial, plastid and nuclear genomes. **Nature** 402: 404-407.
- Saarela, J.M.; Rai, H.S.; Doyle, J.A.; Endress, P.K.; Mathews, S.; Marchant, A.D.; Briggs, B.G. & Graham, S.W. 2007. Hydatellaceae identified as a new branch near the base of the angiosperm phylogenetic tree. **Nature** 446: 312-315.
- Soltis, P.S.; Soltis, D.E. & Chase, M.W. 1999. Angiosperm phylogeny inferred from multiple genes as toll for comparative biology. **Nature** 402: 402-403.
- Taylor, M.L.; Gutman, B.L.; Melrose, M.A.; Ingraham, A.G.; Schwartz, J.A. & Orborn, M. 2008. "Pollen and anther ontogeny in *Cabomba caroliniana* (Cabombaceae, Nymphaeales)." **American Journal of Botany** 95: 399-413.
- Wiersema, J.H. 1987. A monograph of *Nymphaea* subgenus *Hydrocallis* (Nymphaeaceae). **Systematic Botany Monographs** 16: 46-101.
- Wiersema, J.H., 1988. Reproductive Biology of *Nymphaea* (Nymphaeaceae). **Annals of the Missouri Botanical Garden** 75: 795-804.

# GRAMÍNEAS ACUÁTICAS: GRUPOS TAXONÓMICOS, FORMAS DE CRECIMIENTO, MORFOLOGÍA Y ADAPTACIONES AL AMBIENTE ACUÁTICO

**Gabriel Hugo Rua**

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Botánica Sistemática, Buenos Aires, Argentina.

[ruagabri@agro.uba.ar](mailto:ruagabri@agro.uba.ar)

Con más de 700 géneros y ca. 10000 especies, la familia Poaceae (Gramíneas) es una de las más grandes y diversas del Reino Vegetal. Sus especies habitan prácticamente en todas las regiones de la Tierra. Es la familia que cubre en mayor proporción la superficie de nuestro planeta, y la que aporta la mayor cantidad de biomasa. Contribuyen sustancialmente a la alimentación humana, tanto directa (cereales, caña de azúcar) como indirectamente (forrajeras). También son utilizadas en la construcción (bambúes), para producción de biocombustibles, para recreación (céspedes), etc.

Las gramíneas ocupan los hábitats más diversos, incluidos los ambientes acuáticos, y a consecuencia de ello exhiben una gran variedad de formas de crecimiento. Esta diversidad, sin embargo, es el producto de infinidad de variaciones a partir de un patrón estructural común. La estructura general de las plantas de gramíneas corresponde al "modelo arquitectural de Tomlinson" (Hallé *et al.* 1978) en la mayoría de los casos, con excepción de los bambúes leñosos (Bambuseae y Arundinarieae), que se ajustan al modelo de McClure (Hallé *et al.* 1978), caracterizado por una mayor especialización de los vástagos. Este patrón de desarrollo se caracteriza por la repetición de unidades de vástago (UV) (*shoot units*, Bell 1994) a partir de la región proximal de cada unidad precedente (macollos, *afilhos*), tal como ocurre en general en las Monocotiledóneas (Holttum 1955). Cada una de estas UVs está compuesta por unidades menores o "fitómeros" (Clark & Fisher 1987; Nelson 2000). Cada fitómero está constituido por un entrenudo, un nudo, una hoja y un meristema axilar. Cada UV es una sucesión particular de fitómeros producidos por un mismo meristema apical. En algunos casos las sucesivas UVs repiten la misma secuencia de fitómeros, de modo que la descripción detallada de una UV basta para caracterizar a la planta entera (Mühlberg 1967). Sin embargo, en otros casos las UVs difieren en sus respectivas secuencias de fitómeros y se suceden en un orden particular, dando lugar a patrones arquitecturales más complejos (Perreta & Vegetti 2004).

En general, las plantas de ambientes acuáticos se clasifican en cuatro categorías (Cronk & Fennessy 2001): (1) emergentes, (2) sumergidas, (3) con hojas flotantes y raíces fijas al sustrato y (4) flotantes. Cada uno de estos tipos posee un repertorio particular de adaptaciones estructurales y funcionales. La mayoría de las gramíneas que habitan en esta clase de ambientes corresponden al primer tipo, es decir que se trata de plantas arraigadas al sustrato y cuya parte aérea emerge por encima del nivel de la superficie. También existen, aunque son mucho menos frecuentes, las del tipo 4.

Los caracteres morfológicos y fisiológicos asociados con la adaptación a ambientes acuáticos son diversos y fueron adquiridos independientemente por varios linajes de Poaceae en el curso de su evolución y radiación. Los principales grupos taxonómicos con especies adaptadas a hábitats acuáticos

cos son la tribu Oryzaceae (subf. Ehrharthoideae), los géneros *Spartina* (Subf. Chloridoideae) y *Phragmites* (Subf. Arundinoideae), algunos géneros de Pooideae (*Puccinellia*, *Glyceria*, *Catabrosa*, *Beckmania*, etc.) y varios de Panicoideae (*Paspalum*, *Panicum*, *Hymenachne*, *Oplismenopsis*, *Urochloa*, *Echinochloa*, *Paspalidium*, *Anthaenantiopsis*).

Las principales adaptaciones a ambientes acuáticos presentes en Poaceae y que incluyen una componente estructural son las siguientes: formación de aerénquima, formación de raíces adventicias y producción de un sistema radical superficial, producción de vástagos flotantes, rizomas reservantes. A continuación nos referiremos brevemente a cada uno de ellos:

**Formación de aerénquima:** La adaptación más frecuente a las condiciones de hipoxia/anoxia generadas por el exceso permanente o temporario de agua es la producción de aerénquima (Cronk & Fennessy 2001; Sculthorpe 1967), esto es, la formación de espacios o lagunas llenos de aire que permiten el transporte interno de gases a través de un espacio continuo que comunica las partes aéreas y sumergidas. Existen dos mecanismos de formación de aerénquima: lisigenia y esquizogenia (Jung *et al.* 2008). En el primer caso los espacios se forman como resultado del colapso de las células y la ruptura de las paredes celulares, mientras que en el segundo los espacios son el producto de la separación de las paredes celulares. La presencia de aerénquima es generalizada en plantas de ambientes acuáticos, pero su cantidad puede variar plásticamente en respuesta a las condiciones de hipoxia/anoxia provocadas por fluctuaciones hídricas (Sultan 1995).

En Poaceae, la formación de aerénquima es muy común, tanto en especies acuáticas y palustres como en especies terrestres tolerantes a inundaciones periódicas (Di Bella *et al.* 2014; Končalová 1990). En varios géneros de Poaceae con representantes acuáticos o palustres, como *Glyceria*, *Spartina*, *Oryza*, *Zizania* (Seago *et al.* 2005), se ha observado la presencia de aerénquima lisigeno, el que en las raíces de Poaceae y otras Commelinidae adopta una disposición radial (Jung *et al.* 2008). El volumen relativo ocupado por cavidades aeríferas puede variar en respuesta a oscilaciones del contenido hídrico del sustrato. En *Paspalum dilatatum* Poir. Y *Spartina densiflora* Brongn. se ha comprobado que este carácter muestra una mayor plasticidad en plantas provenientes de lugares bajos e inundables que en otras procedentes de sitios vecinos más altos y drenados (Di Bella *et al.* 2014; Mollard *et al.* 2008; Vasellati *et al.* 2001). En un experimento llevado a cabo con dos especies de *Paspalum* de ambientes acuáticos, *P. modestum* y *P. wrightii*, se comprobó que ambas especies aumentaron el porcentaje total de aerénquima bajo condiciones de anegamiento, pero mostraron diferentes respuestas en los distintos órganos analizados (Fabbri *et al.* 2005). En efecto, en *P. modestum*, una especie de cuerpos de agua permanentes con rizomas breves y largos vástagos flotantes, el mayor aumento se registró en las raíces fijas en el sustrato. En cambio en *P. wrightii*, una especie con rizomas bien desarrollados y cañas erectas adaptada a ambientes con inundaciones estacionales, el porcentaje de aerénquima aumentó uniformemente en todos los órganos.

Algunas gramíneas que forman extensos vástagos flotantes, como *Oplismenopsis najada* (González, 2002), *Paspalum modestum*, *P. repens* y *P. palustre* (Aliscioni 2000), tienen un gran desarrollo de aerénquima en las vainas foliares, que actúan como estructuras de flotación.

**Raíces adventicias:** Algunas gramíneas acuáticas producen largos vástagos flotantes provistos de raíces adventicias muy profusas y ramificadas, que forman densos manojos con aspecto de cabellera que contrastan con el sistema de raíces fijas al sustrato, generalmente gruesas y poco ramificadas. Este dimorfismo radical está asociado con una "división del trabajo": mientras las raíces fijas anclan la planta al sustrato, las raíces "libres" son las principales responsables de la captación de nutrientes disueltos en el agua (Končalová 1990). En Poaceae y otras plantas "graminoides" de ambientes acuáticos, las raíces fijas en el sustrato poseen una exodermis bien desarrollada que limita la pérdida radial de oxígeno y la circunscribe sólo a las porciones distales. Así, el oxígeno actúa como barrera protectora contra los efectos tóxicos del etanol liberado como producto de la fermentación anaerobia (Končalová 1990). En *Paspalum modestum*, una especie con dimorfismo radical marcado,

se verificó que sólo las raíces fijas aumentaron la proporción de aerénquima como respuesta a condiciones de inundación (Fabbri *et al.* 2005).

Otra adaptación frecuente de los sistemas radicales de plantas que crecen en suelos inundados es la formación de un sistema de raíces superficiales, que al ocupar la porción más oxigenada del perfil del suelo contribuye a aliviar los efectos de la escasez de oxígeno. En Poaceae, se han citado casos en *Elymus repens* (L.) Gould y *Phragmites communis* Trin. (Cronk & Fennessy 2001).

*Vástagos flotantes*: Como se mencionó, varias gramíneas de ambientes acuáticos desarrollan vástagos flotantes, a veces muy extensos. En general, estos vástagos corresponden a la porción distal de ejes cuya porción proximal, de entrenudos cortos y con características de rizoma, está arraigada en el sustrato (Rua & Gróttola 1997). Estos vástagos flotantes de crecimiento plagiótropo son por lo tanto homólogos a las cañas de gramíneas erectas, y se comportan como estolones: arraigan en los nudos, producen frecuentemente ramificaciones laterales y eventualmente se fragmentan facilitando la dispersión. En algunos casos, como *Paspalum vaginatum* Sw., los estolones normalmente terrestres y arraigados se vuelven flotantes cuando la planta crece junto a un cuerpo de agua. En especies adaptadas a la vida en cuerpos de agua permanentes, estos vástagos muestran adaptaciones morfológicas evidentes; tallos huecos, hojas con la vaina "inflada" debido a la formación de aerénquima y dimorfismo radical tal que las raíces sumergidas son mucho más finas y ramificadas que aquellas fijas en el sustrato. La fragmentación de estos estolones hace que se desprendan porciones ('ramets') completamente flotantes y sin anclaje en el sustrato. Algunas de estas especies, como *Panicum elephantipes* Nees ex Trin., *Oplismenopsis najada* y *Paspalum repens* P. J. Bergius, suelen estar asociadas con *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth y otras plantas flotantes para formar extensas islas flotantes o "camalotales" (Carnevali 1994; Guglieri *et al.* 2007).

Un caso particular de estolones flotantes fue descrito para *Paspalum acuminatum* Raddi y *P. morichalense* Davidse, Zuloaga & Filg. (Rua & Gróttola 1997). En estas especies, tales estolones tienen una construcción simpodial. Cada módulo del simpodio consta de un número variable de entrenudos y termina en una inflorescencia, y cada unidad de vástago que constituye un nuevo módulo se desarrolla exclusivamente a partir de la penúltima hoja de follaje.

*Rizomas reservantes*: Bajo condiciones de anoxia, las células vegetales convierten su metabolismo de aeróbico a anaeróbico. Debido a la baja eficiencia relativa de la fermentación anaeróbica, la producción de ATP suficiente para mantener el metabolismo celular bajo tales condiciones requiere una cantidad de glucosa mucho mayor que bajo respiración aeróbica (Cronk & Fennessy 2001). En efecto, se ha comprobado que plantas con rizomas grandes y vigorosos, como *Phragmites* y *Spartina*, sobreviven a períodos de anegamiento más largos que otras con rizomas más débiles (Braendle & Crawford 1987).


Los rizomas de Poaceae pueden estar constituidos exclusivamente por entrenudos cortos o bien pueden extenderse gracias al crecimiento intercalar de sus entrenudos. En este último caso, es frecuente la formación de una zona engrosada y de entrenudos cortos coincidente con la región en la que el eje cambia la dirección del crecimiento de plagiótropo a ortótroto para producir un vástago aéreo (Serebriakova 1969). Esta zona acumula reservas y lleva los meristemas de innovación. Este tipo de crecimiento ha sido observado, por ejemplo, en *Paspalum wrightii* Hitchc. & Chase (Rua & Gróttola 1997; Fabbri *et al.* 2005), una especie común en el Pantanal Matogrossense y otros sitios con inundaciones periódicas.

Un caso especial ocurre en algunas especies cespitosas de pajonales húmedos del sur del Brasil, nordeste de Argentina y Paraguay, como *Paspalum dedeccae* Quarin, *P. erianthoides* Lindm. Y *Anthraenantiopsis rojasiana* Parodi. Estas especies forman matas densas a partir de la acumulación de ejes ortótropos intravaginales. Cada nuevo eje se desarrolla inicialmente hacia abajo a partir de un meristema axilar de su eje madre, y rápidamente se reorienta hacia arriba, formando en su porción proximal un rizoma en forma de 'U'. Como consecuencia de este modo de crecimiento, el meristema

apical de cada eje de orden sucesivo se encuentra a mayor profundidad que el precedente. Así, todos los meristemas resultan enterrados en el barro y protegidos por las vainas foliares, que poseen abundante aerénquima. Esta forma particular de crecimiento protege los meristemas de los fuegos, naturales o antrópicos, que suelen ocurrir a partir de la biomasa acumulada al final del invierno producto de las láminas foliares secas (Valera *et al.* inéd.).

## Referencias

- Aliscioni, S.S. 2000. Anatomía ecológica de algunas especies del género *Paspalum*. **Darwiniana** **38**: 187–207.
- Bell, A. 1994. A summary of the branching process in plants. Pp. 119–142. In: Mann, D.G. (Ed.). **Shape and Form in Plants and Fungi**. London, Academic Press.
- Braendle, R. & Crawford, R.M.M. 1987. Rhizome anoxia tolerance and habitat specialization in wetland plants. Pp. 397–410. In: Crawford, R.M.M. (Ed.). **Plant Life in Aquatic and Amphibious Habitats**. Oxford, Blackwell.
- Carnevali, R. 1994. **Fitogeografía de la provincia de Corrientes**. Corrientes, Gobierno de la provincia de Corrientes - INTA.
- Clark, L.G. & Fisher, J.B. 1987. Vegetative morphology of grasses: shoots and roots. Pp. 37–45. In: Soderstrom, T.R., Hilu, K.W., Campbell, C.S. & Barkworth, M.E. (Eds.). **Grass Systematics and Evolution**. Washington, D.C., Smithsonian Institution.
- Cronk, J.K. & Fennessy, M.S. 2001. **Wetland plants: Biology and ecology**. Boca Raton, CRC.
- Di Bella, C.E., Striker, G.G., Escaray, F.J., Lattanzi, F. A., Rodríguez, A.M. & Grimoldi, A. A. 2014. Saline tidal flooding effects on *Spartina densiflora* plants from different positions of the salt marsh. Diversities and similarities on growth, anatomical and physiological responses. **Environmental and Experimental Botany** **102**: 27–36.
- Fabbri, L.T., Rua, G.H. & Bartoloni, N. 2005. Different patterns of aerenchyma formation in two hygrophytic species of *Paspalum* (Poaceae) as response to flooding. **Flora** **200**: 354–360.
- González, A.M. 2002. Anatomía del vástago en especies selectas de plantas hidrófilas. Pp. 431–450. In: Arbo, M.M. & Tressens, S.G. (Eds.). **Flora Del Iberá**. Corrientes, EUDENNE.
- Guglieri, A., Boldrini, I.I. & Valls, J.F.M. 2007. Confirmação da ocorrência do gênero *Oplismenopsis* (Poaceae) no Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** **30**: 139–142.
- Hallé, F., Oldeman, R.A.A. & Tomlinson, P.B. 1978. **Tropical Trees and Forests**. Berlin, Springer.
- Holttum, R.E. 1955. Growth-habits of Monocotyledons - Variations on a theme. **Phytomorphology** **5**: 399–413.
- Jung, J., Lee, S.C. & Choi, H.-K. 2008. Anatomical patterns of aerenchyma in aquatic and wetland plants. **Journal of Plant Biology** **51**: 428–439.
- Končalová, H. 1990. Anatomical adaptations to waterlogging in roots of wetland graminoids : limitations and drawbacks. **Aquatic Botany** **38**: 127–134.
- Mollard, F.P.O., Striker, G.G., Ploschuk, E.L., Vega, A.S. & Insausti, P., 2008. Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. **Flora** **203**: 548–556.
- Mühlberg, H. 1967. Die Wuchstypen der mitteldeutschen Poaceen. **Hercynia** **4**: 11–50.
- Nelson, C.J. 2000. Shoot morphological plasticity of grasses: Leaf growth vs. tillering. Pp. 101–126. In: Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A. de, Carvalho & P.C.F., Nabinger, C. (Eds.). **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Wallingford, CABI.
- Perreta, M.G. & Vegetti, A.C., 2004. Structure and development of the branching system in *Melica macra* (Poaceae). **Flora** **199**: 36–41.
- Rua, G.H. & Gróttola, M.C. 1997. Growth form models within the genus *Paspalum* L. (Poaceae, Paniceae). **Flora** **192**: 65–80.
- Sculthorpe, D. 1967. **The biology of aquatic vascular plants**. London, Edward Arnold.

- 
- Seago, J.L., Marsh, L.C., Stevens, K.J., Soukup, A., Votrubová, O. & Enstone, D.E. 2005. A re-examination of the root cortex in wetland flowering plants with respect to aerenchyma. **Annals of Botany** **96**: 565–79.
- Serebriakova, T.I. 1969. Branching and tillering in the Poaceae family. **Botanicheskii Zhurnal SSSR** **54**: 858–871.
- Sultan, S.E. 1995. Phenotypic plasticity and plant adaptation. **Acta Botanica Neerlandica** **44**: 363–383.
- Vasellati, V., Oosterheld, M., Medan, D. & Loreti, J. 2001. Effects of flooding and drought on the anatomy of *Paspalum dilatatum*. **Annals of Botany** **88**: 355–360.



# CONSERVAÇÃO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NAS IPUEIRAS DA CAATINGA

**Maria Jaciane de Almeida Campelo**

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Centro de Referência para  
Recuperação de Áreas Degradadas da Caatinga. Petrolina, Brazil.

[jaciane.campelo@univasf.edu.br](mailto:jaciane.campelo@univasf.edu.br)

## Introdução

As ipueiras *stricto sensu* são consideradas como ecossistemas aquáticos temporários, incluindo poças, alagados e lagoas temporárias. Para Gil & Bove (2004) são denominadas alagados, brejos, áreas alagáveis, ou ainda, áreas inundáveis, que se apresentam secos nos períodos de estiagem, porém na época das chuvas retornam ao seu estado alagado. Para Esteves (1998), estão definidos, no Brasil, por zonas onde a vegetação colonizadora é tolerante ou adaptada a solos úmidos, ou a solos que diariamente ou sazonalmente sofrem inundações.

No semiárido brasileiro, em sua totalidade na região Nordeste, as principais zonas úmidas naturais são os rios e as ipueiras ou lagoas temporárias. Do ponto de vista da conservação da natureza, as ipueiras do semiárido são verdadeiras manchas de biodiversidade, não só no tocante à fauna e à flora aquáticas, mas também por causa da concentração de outros animais e vegetais em suas proximidades. Esse aspecto torna-se ainda mais importante quando se considera que a parcela da superfície do Nordeste protegida (na forma de unidades de conservação) é muito pequena: apenas 1,13 %. A preocupação aumenta em casos como o da Paraíba, que tem quase toda a sua superfície (94 %) classificada como semiárido e uma parte mínima (0,11 %) protegida (Maltchik 2000).

Segundo Bianchini & Cunha-Santino (2006), nesses tipos de ecossistemas aquáticos há uma flora associada e adaptada aos seus extremos hidrológicos: inundação e seca. Esses dois extremos são considerados perturbações ambientais e a influência na comunidade biológica varia de acordo com seus atributos (intensidade, frequência, duração, período de ocorrência e previsibilidade). A dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas nesses ecossistemas varia entre ciclos anuais e está associada às estratégias de resistência e resiliência das espécies presentes no sistema. As alterações na composição de macrófitas aquáticas ao longo do tempo ocorrem pela substituição e variações na biomassa e abundância relativa das espécies.

Nota-se ainda que as macrófitas aquáticas podem resistir a curtos períodos de estiagem devido à presença de adaptações morfológicas e fisiológicas, entretanto, após longos períodos de seca, o restabelecimento das plantas pode depender do banco de sementes ou de propágulos presentes no sedimento (Bianchini & Cunha-Santino 2006). Nesse sentido, as características notórias das flutuações do nível de água demonstram que podem implicar no isolamento dos corpos d'água que apresentam questões relevantes nas investigações, ligadas aos processos de colonização e dinâmica das comunidades de macrófitas aquáticas.

Para Bove *et al.* (2003), as plantas que colonizam este tipo de ambiente possuem adaptações à sazonalidade, como o anualismo ou a resistência à vida terrestre nos períodos de estiagem. Nesse sentido, considerando que estes ambientes encontram-se extremamente ameaçados devido à des-

truição das matas ciliares, ao desvio de cursos d'água na otimização das atividades agropecuárias, pela poluição direta ou indiretamente causada pela população local e aterramentos com fins imobiliários, torna-se evidente a necessidade de um levantamento das espécies ocorrentes nos mesmos, assim como estudo sistemático.

Mesmo com todas as exigências de colonização vegetal, as macrófitas aquáticas podem se constituir no principal produtor de matéria orgânica, atingindo cerca de 100 t de peso seco/ha/ano (Piedade *et al.* 1991), valor superior ao da cana-de-açúcar, mesmo mediante a aplicação de grandes quantidades de insumos agrícolas. Segundo Junk (1980) e Pompêo & Henry (1996), apresentam importante papel na troca de nutrientes, podendo tornar-se as principais controladoras da dinâmica de nutrientes no ecossistema.

Quanto aos estudos florísticos e ecológicos a respeito das macrófitas aquáticas nota-se o crescente interesse nesse grupo vegetal aquático pela expressiva importância nas diversas cadeias tróficas e na possibilidade da aplicação comercial em distintas áreas. Como exemplo, tem-se a nutrição, a saúde humana e animal, o tratamento de águas residuais, a produção de energia e a obtenção de compostos de interesse das indústrias alimentares, química e farmacêutica, dentre outras (Borowitzka, 1993; Bruno, 2001; Richmond, 2004).

Conforme exposto acima, os ecossistemas aquáticos temporários possuem também grande representatividade no semiárido nordestino. A existência das ipueiras na Caatinga do nordeste e o uso destas como meio tornam necessária uma caracterização botânica, zoológica e ecológica, tomando como parâmetro biológico à comunidade vegetal aquática associada aos parâmetros físico-químicos. O conhecimento de fatores-chave que influenciam o desenvolvimento de macrófitas aquáticas nesses ecossistemas no semiárido torna-se relevante.

De modo que tecer comentário sobre grupos biológicos dependentes da conservação das ipueiras da Caatinga, locais de riqueza expressiva, dinâmico e dependente das flutuações climáticas. A exemplificar, a temperatura, a luminosidade e a umidade do ar, face aos baixos índices de precipitação pluviométrica, irregularidade das chuvas e altas taxas de evaporação é fundamental para compreender os processos de colonização e adaptação de sua biocenose.

### *A importância das ipueiras para alguns grupos biológicos*

Em todos os biomas terrestres, as ipueiras são imprescindíveis e, em regiões áridas, como na Caatinga, onde o ciclo da água ocorre com menor intensidade, são considerados de vital importância para diversas espécies de animais, devido à escassez hídrica. Nesse bioma, as épocas de chuvas e de estiagens são bem pronunciadas, trazendo grandes contrastes sazonais na paisagem (Pereira 2010).

Araújo *et al.* (2013) avaliaram banco de ovos de resistência e comunidade ativa zooplanctônica de cinco lagoas costeiras permanentes e de cinco ipueiras, com o intuito de comparar a comunidade ativa e dormente destes ambientes; os autores registraram que ambientes temporários e permanentes não diferem quanto à composição e riqueza de espécies de suas comunidades ativas e dormentes, diagnosticando que as ipueiras são tão importantes como os maiores corpos d' água.

Para Cardoso *et al.* (2012), em um estudo em poças do rio Taperoá, em São João do Cariri, na Paraíba, é possível considerar a importância das poças temporárias para a conservação dos estoques de peixes. Uma vez que se forneça abrigo e alimento para diversas espécies, nota-se que esses ecossistemas temporários demonstram que as condições severas aparentemente estimulam a reprodução, como forma de sobrevivência, garantindo o recrutamento das espécies e a produção pesqueira.

No que se refere importância das ipueiras na riqueza de aves, Pereira (2010) relata que durante a estação chuvosa, registra-se aumento significativo na riqueza e na abundância de espécies de aves,

especialmente as que dependem do ambiente aquático. De acordo com a literatura pertinente (Telino-Júnior *et al.* 2005; Farias 2005) esse aspecto é fato em estudos de aves nas Caatingas.

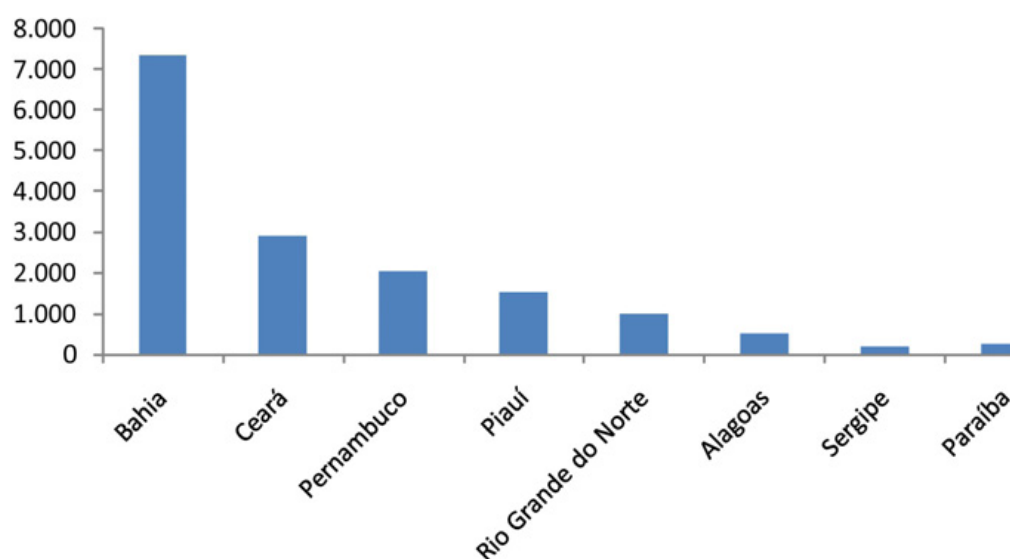
## Caracterização física das Ipueiras no semiárido

As Ipueiras estão quase presentes o ano todo no semiárido, mas são verificadas em maior quantidade principalmente após fortes chuvas. Também pode ser observado que após intensa precipitação pluviométrica o espelho d'água de diversas lagoas se comunica, passando a constituir uma única lagoa. Estas lagoas temporárias podem secar por completo num período de três semanas. Entretanto, quando as chuvas são abundantes é suficiente para encher as ipueiras de água. Estudo realizado no semiárido do nordeste por Maltchik (2006) ressalta que as lagoas temporárias estão mais numerosas nos estados da Bahia, Ceará e Pernambuco (Figura 1).

No que se refere à caracterização física, considera-se que grande parte das ipueiras encontra-se isoladas, sem vegetação marginal, cercada unicamente de areia. Investigações recentes (Santos & Morais 2012) ressaltam que análises morfométricas demonstram que as lagoas apresentam formato variado, pequena profundidade, bem como, pequeno comprimento, largura, área, volume e perímetro. Para Panosso *et al.* (1995), tais características sugerem que as lagoas são muito dinâmicas e influenciadas principalmente pelas condições ambientais externas e provavelmente apresentam período diário de mistura.

## Conservação e ameaças a dinâmica dos ecossistemas aquáticos na Caatinga

A conservação das macrófitas aquáticas está intimamente relacionada à realização de expedições científicas para que haja um inventário completo sobre a biodiversidade dessa vegetação na Caatinga. Nota-se que nesse bioma há elevadas taxas de endemismos (Giulietti *et al.* 2002) e a presença de macrófitas aquáticas raras, como exemplo, *Ceratolacis pedunculatum* C.T.Philbrick, Novelo & Irgang (Podostemaceae), ocorrendo em locais de difícil acesso do Rio São Francisco sob forte cor-



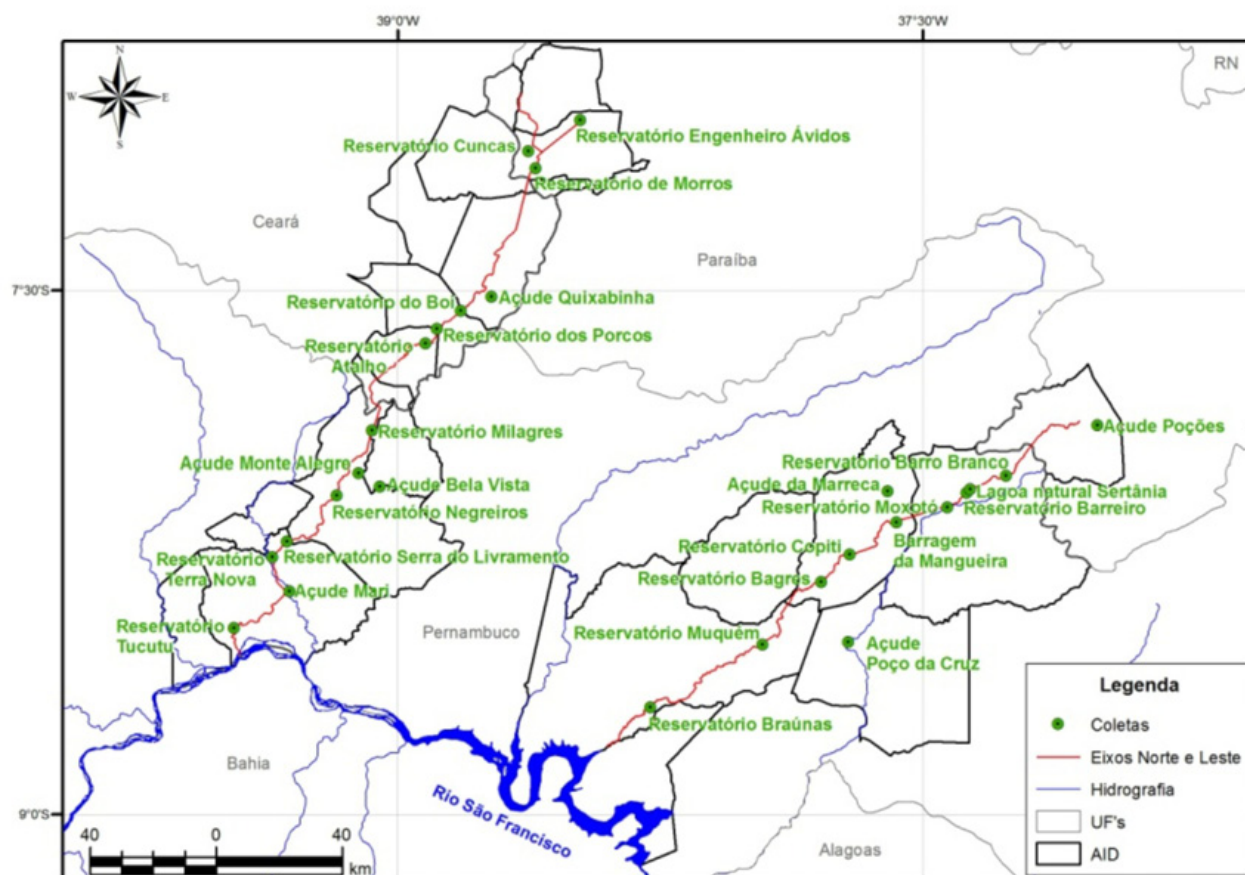
**Figura 1.** Numero de Lagoas temporárias no semiárido nordestino. Fonte: Maltchik, 2000.

renteza e elevada oxigenação. Além de *Anamaria heterophylla* (Giul. & V.C.Souza) V.C.Souza (Plantaginaceae), que ocorre nas margens dos corpos d'água da Caatinga. Recentes estudos (em preparação) apontam a descrição de uma nova espécie de *Nymphaea* sp. para ciência. Nesse contexto, ressaltamos que as espécies citadas, ocorrem em habitats específicos e degradados pela ação antrópica.

Com base nos estudos florísticos e ecológicos realizados com a comunidade de macrófitas aquáticas em 27 ecossistemas aquáticos do semiárido nordestino (Figura 2), abrangendo lagoas temporárias, açudes e reservatórios ao longo da Obra da Transposição do Rio São Francisco (Campelo *et al.* 2012; 2013) foi possível reconhecer os fatores determinantes na composição, riqueza e distribuição das espécies de macrófitas aquáticas no nordeste.

Os fatores determinantes refletem na existência de um determinado organismo. Essa influência se dá por uma faixa denominada limite de tolerância, que corresponde aos limites mínimos e máximos de determinados fatores ambientais, tais como, temperatura, luminosidade e nutrientes, dentre os quais um organismo consegue viver e se reproduzir (Odum 1988).

De acordo com Campelo *et al.* (2012) os ecossistemas aquáticos no semiárido, apresentam nível sucessional avançado da vegetação aquática, marcado pela presença de espécies anfíbias e emergentes, além de uma substituição gradual da vegetação nativa por espécies exóticas e de potencial invasor, como por exemplo: *Azolla pinnata* R.Br., *Amaranthus blitum* L. e *A. viridis* L., *Ipomoea wrightii* A. Gray, *Oryza sativa* L.; *Physalis angulata* L. e *P. pruinosa* L. e *Sphenoclea zeylanica* Gaertn. Merece destaque as espécies consideradas oportunistas e/ou de ampla distribuição, como, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *E. azurea* Kunth, *Ipomea carnea* Jacq., *Cyperus odoratus* L., *Egeria densa* Planch., *Pistia*



**Figura 2.** Mapa de localização dos Ecossistemas aquáticos ao longo da Obra da Integração do Rio São Francisco com Bacias do Nordeste Setentrional. Fonte: Brasil (2004, 2006, 2010) com modificações.

*stratiotes* L. e *Paspalum repens* P.J. Bergius. Nos corpos d'águas da caatinga, essas espécies podem representar um fator preocupante e à propagação excessiva e acelerada em ambientes eutrofizados.

Nas comunidades de macrófitas aquáticas pode haver um crescimento excessivo das macrófitas oportunistas, afetando e prejudicando a utilização dos corpos d'água. Geralmente, tais condições ótimas de desenvolvimento ocorrem devido às ações humanas, principalmente através do lançamento de efluentes orgânicos, que promovem o aumento da disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, favorecendo o crescimento de macrófitas aquáticas (Seshavatharam 1990).

Para Gopal & Junk (2000), o conhecimento dos fatores influenciadores do desenvolvimento desses vegetais é de grande importância em estudos sobre produção primária de fitoplâncton e de macrófitas aquáticas, uma vez que estes vegetais podem em condições próximas aos seus limites de tolerância realizar somente os processos fotossintéticos suficientes para a sua sobrevivência. Por outro lado, pode ocorrer incremento na produção primária e conseqüentemente um aumento da reprodução sexuada e vegetativa quando as características ambientais são favoráveis.

É necessário, portanto, para o controle e manejo adequado dos vegetais aquáticos, o conhecimento das condições ambientais ótimas para o seu crescimento, assim como os aspectos biológicos e auto-ecológicos das espécies (Camargo *et al.* 2003). De acordo com Palombo (1997), algumas macrófitas aquáticas flutuantes ocorrem com frequência em ambientes eutrofizados, bem como, as consideradas oportunistas e/ou de ampla distribuição. Nestas condições podem apresentar valores elevados de biomassa e cobrir grandes áreas, como por exemplo, os bancos de *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes*.

Segundo Tundisi (1986) a eutrofização é causada principalmente pelas seguintes atividades: despejos de esgotos domésticos; despejos de atividades agrícolas; poluição do ar e queda do material da atmosfera (sob a forma de partículas junto com a água de chuva); vegetação remanescente em represas não desmatadas antes do fechamento. As suas principais consequências nos sistemas aquáticos são: aumento da biomassa e da produção primária do fitoplâncton; diminuição de diversidade de espécies; diminuição da concentração de oxigênio dissolvido; diminuição na concentração de íons; aumento do fósforo total no sedimento; aumento da frequência do florescimento de cianofíceas.

Na caatinga, além da eutrofização que ameaça o estabelecimento dos corpos d'águas temporários e/ou permanentes, nota-se que prática da agricultura representa uma ameaça. Tudo se inicia com uso de fertilizantes e herbicidas na produção da fruticultura irrigada que contamina o solo carregando para os rios, lagoas, açudes e ipueiras. Também merece menção a drenagem, as mudanças do regime hidrológico e a invasão de espécies exóticas reduzindo a biodiversidade desses ecossistemas aquáticos no semiárido. Essa bioinvasão está associada a tendência em encher as lagoas com água dos canais de rega, com espécies exóticas vegetais e animais.

## Riqueza e similaridade florística de macrófitas aquáticas na Caatinga

Quanto o conhecimento da flora aquática no semiárido nordestino pode destacar que o número de publicações vem crescendo e ampliando as informações florísticas e ecológicas de macrófitas aquáticas (Campelo *et al.* 2012, 2013; Moura-Júnior *et al.* 2011, 2013; Sobral-Leite *et al.* 2010; Pedro *et al.* 2006; França *et al.* 2003). Como base nos estudo de Campelo *et al.* (2012) que resultou na compilação de 192 espécies de macrófitas aquáticas para os mananciais nordestinos em áreas da obra da Integração do Rio São Francisco. Desse total, 47 espécies distribuídas em 24 famílias e 39 gêneros são consideradas comuns nas ipueiras da Caatinga (Tabela 1). As famílias Plantaginaceae e Alismataceae destacam-se com maior representatividade de espécies (14,2 e 10,6%). *Chara* e *Echinodorus*,

**Tabela 1.** Riqueza de macrófitas aquáticas nas ipueiras do semiárido nordestino.

Família	Gênero	Espécie	Autor
Alismataceae			
	<i>Hydrocleys</i>	<i>martii</i>	Seub.
	<i>Sagittaria</i>	<i>guayanensis</i>	Kunth
	<i>Echinodorus</i>	<i>subalatus</i>	(Mart.) Griseb.
	<i>Echinodorus</i>	<i>glandulosus</i>	Rataj
	<i>Echinodorus</i>	<i>palaefolius</i>	(Nees & Mart.) J.F. Macbr.
Araceae			
	<i>Pistia</i>	<i>stratiotes</i>	L.
	<i>Lemna</i>	<i>aequinoctialis</i>	Welw.
Asteraceae			
	<i>Egletes</i>	<i>viscosa</i>	(L.) Less.
	<i>Pluchea</i>	<i>sagittalis</i>	(Lam.) Cabrera
	<i>Acmella</i>	<i>uliginosa</i>	(Sw.) Cass.
	<i>Eclipta</i>	<i>prostrate</i>	(L.) L.
Charophyceae			
	<i>Nitella</i>	<i>cernua</i>	A.Braun
	<i>Chara</i>	<i>zeylanica</i>	Klein ex Willd.
	<i>Chara</i>	<i>guirensis</i>	R.M.T.Bicudo
	<i>Chara</i>	<i>kenoyeri</i>	Howe
Convolvulaceae			
	<i>Ipomoea</i>	<i>asarifolia</i>	(Desr.) Roem. & Schult.
Fabaceae			
	<i>Neptunia</i>	<i>plena</i>	(L.) Benth.
Hydrocharitaceae			
	<i>Egeria</i>	<i>densa</i>	Planch.
Lentibulariaceae			
	<i>Utricularia</i>	<i>gibba</i>	L.
Marsileaceae			
	<i>Marsilea</i>	<i>deflexa</i>	A.Braun
Menyanthaceae			
	<i>Nymphoides</i>	<i>humboldtiana</i>	(Kunth) Kuntze
Nymphaeaceae			
	<i>Nymphaea</i>	<i>lasiophylla</i>	Mart. & Zucc.
	<i>Nymphaea</i>	<i>pulchella</i>	DC.
Onagraceae			
	<i>Ludwigia</i>	<i>erecta</i>	(L.) H. Hara
	<i>Ludwigia</i>	<i>helminthorrhiza</i>	(Mart.) H.Hara

Continua

**Tabela 1.** Continuação

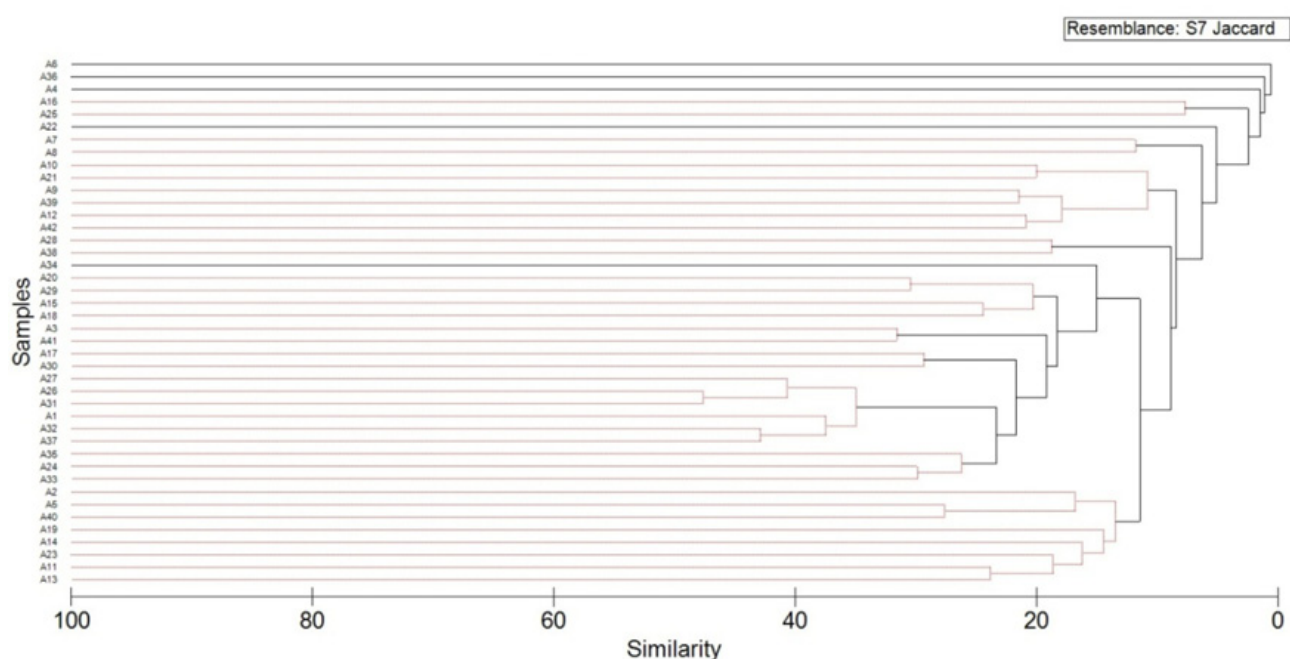
Família	Gênero	Espécie	Autor
Poaceae			
	<i>Paspalidium</i>	<i>geminatum</i>	(Forssk.) Stapf
Podostemaceae			
	<i>Ceratolacis</i>	<i>pedunculatum</i>	C.T.Philbrick, Novelo & Irgang
	<i>Tristicha</i>	<i>trifaria</i>	(Bory ex Willd.) Spreng.
Polygonaceae			
	<i>Polygonum</i>	<i>hispidum</i>	Kunth
Pontederiaceae			
	<i>Hydrothrix</i>	<i>gardneri</i>	Hook.f.
	<i>Eichhornia</i>	<i>paniculata</i>	(Spreng.) Solms
	<i>Heteranthera</i>	<i>oblongifolia</i>	Mart.
	<i>Heteranthera</i>	<i>rotundifolia</i>	(Kunth) Griseb.
Salviniaceae			
	<i>Azolla</i>	<i>caroliniana</i>	Willd.
Lythraceae			
	<i>Ammannia</i>	<i>latifolia</i>	L.
Cyperaceae			
	<i>Cyperus</i>	<i>odoratus</i>	L.
Poaceae			
	<i>Echinochloa</i>	<i>polystachya</i>	(Kunth) Hitchc.
Molluginaceae			
	<i>Glinus</i>	<i>radiatus</i>	(Ruiz & Pav.) Rohrb
	<i>Mollugo</i>	<i>verticillata</i>	L.
Boraginaceae			
	<i>Heliotropium</i>	<i>elongatum</i>	Willd. ex Cham.
Plantaginaceae			
	<i>Anamaria</i>	<i>heterophylla</i>	(Giul. & V.C.Souza) V.C.Souza
	<i>Angelonia</i>	<i>salicariifolia</i>	Bonpl.
	<i>Amaranthus</i>	<i>blitum</i>	L.
	<i>Apalante</i>	<i>granatensis</i>	(Bonpl.) Planch.
	<i>Bacopa</i>	<i>gratilioides</i>	(Cham.) Edwall
	<i>Stemodia</i>	<i>foliosa</i>	Benth.
	<i>Stemodia</i>	<i>maritima</i>	L.
Capparaceae			
	<i>Tarenaya</i>	<i>spinosa</i>	Jacq.

os gêneros mais numerosos e *Anamaria heterophylla* e *Hydrothrix gardneri*, as espécies consideradas endêmicas da Caatinga freqüentemente observadas nas ipueiras da Caatinga.

Campelo *et al.* (2013), ressaltam que a riqueza de espécies geral não diferem significativamente entre as ipueiras, açudes, rio e reservatórios artificiais. De acordo com a análise de Simprof, à composição de macrófitas aquáticas nos corpos d'água estudados há pouco compartilhamento entre suas espécies. O teste de Jaccard (S) revelou que dentre todos os subgrupos formados, 09 subgrupos se encontram acima de 0,25 e indicam similaridade razoável na estrutura florística dos corpos d'água analisados. Ainda no agrupamento formado, observa-se que todas as ligações em vermelho representam subgrupos similares, ou seja, não apresentam diferenças significativas entre si; aqueles em preto, apresentam diferenças significativas entre si e, portanto, não são similares. Além disso, apenas um subgrupo formado a partir de 0,48, apresentando grau de similaridade elevada comparado com os demais subgrupos. Esses dados podem sugerir que as comunidades de macrófitas aquáticas do semiárido colonizadoras desses corpos d'água se comportam de forma independente, não indicando relação com a origem da bacia e proximidade entre corpos d'água. Os agrupamentos formados pela análise em questão demonstram a heterogeneidade florística existente nos ecossistemas aquáticos da região de estudo (Figura 3).

## Considerações finais

A riqueza de macrófitas aquáticas e as formas biológicas podem variar entre os tipos de corpos d'água e entre as ipueiras ao longo dos meses do ano. Percebe-se que o nível de água oscila muito nas ipueiras, pois a maior fonte de entrada de água é rápida, em função da escassez e da irregularidade de chuvas na Caatinga. Em face disso, as ipueiras podem ficar secas por um longo período do ano, e as plantas necessitam de estratégias adaptativas para superar o estresse hídrico. Nesse âmbito, as formas biológicas anfíbias e emergentes dominam nas comunidades de macrófitas aquáticas.



**Figura 3.** Dendrograma de similaridade (Coeficiente de Jaccard) florística de macrófitas aquáticas nos ecossistemas aquáticos da Caatinga. Descrição dos corpos d'água: 1-17, 19-29, 45, reservatório; 18, 34, lago; 31, 33, 35, 38, 39, 41, 42, 46, 48, açude; 32, 49, 51, ipueira).



A conservação das macrófitas aquáticas está intimamente relacionada com o conhecimento das comunidades aquáticas e o seu papel desempenhado no meio, para que haja o fortalecimento e a construção de uma base de dados. Essas diretrizes representam um avanço para as ações de monitoramento e manejo da vegetação aquática. Ações futuras devem incluir o manejo e o controle de espécies nativas que se beneficiam da eutrofização dos corpos d'água, das exóticas e daquelas de ampla distribuição. Essas estratégias são importantes para que haja maior atenção das consideradas bioindicadoras de qualidade de água para uso na irrigação e no consumo humano.

## Referências

- Araújo, L.R., Lopes, P.M., Santangelo, J.M., Petry, A.C. & Bozelli, R.L. 2013. Zooplankton resting egg banks in permanent and temporary tropical aquatic systems. **Acta Limnologica Brasiliensia** **25**: 235-245.
- Bianchini J.R.I. & Cunha-Santino, M.B. 2006. A decomposição de macrófitas aquáticas. **Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia** **35**: 15-17.
- Bove, C.P., Gil, A.S.B., Moreira, C.B. & Anjos, R.F.B. 2003. Hidrófitas fanerogâmicas de ecossistemas aquáticos temporários da planície costeira do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **17**:119-135.
- Brasil – Ministério da Integração Nacional. 2004. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)**. Brasília, MI.
- Brasil – Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas (ANA). 2006. Rede Hidrográfica Codificada, método Otto Pfafstetter. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/solicitacaoBaseDados.asp>.
- Brasil – Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) / Diretoria de Geociências (DGC). 2010. **Base Cartográfica Contínua, ao milionésimo –BCIM: versão 3.0 – Limite Município**. Rio de Janeiro, IBGE.
- Borowitzka, M.A. 1993. Products from microalgae. **Infofish International** **5**: 21-26.
- Bruno, J.J. 2001. Edible microalgae: a review of the health research. **Pacifica: Center for Nutritional Psychology** **3**: 1-56.
- Camargo, A. F. M.; Pezzato, M. M.; Henry-Silva, G. G. 2003. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. Pp. 59 – 83. In: Thomaz, S. M. & Bini, L. M. (Ed.) **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Editora da Universidade Estadual de Maringá.
- Campelo, M.J.A.; Siqueira-Filho J.A.; Cotarelli V.M.; Souza E.B.; Pimenta W.A; Pott, J.V. 2012. Macrófitas Aquáticas nas Áreas do Projeto da Integração do Rio São Francisco. Pp. 192-229. In: Siqueira-Filho, J.A., Leme, E.M.C. (Eds.). **Flora das Caatingas do Rio São Francisco**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial.
- Campelo, M.J.A.; Siqueira-Filho J.A.; Cotarelli V.M. 2013. Structure Community of Aquatic Macrophytes in Springs of the Semiarid, Northeast Brazil. **International Journal of Scientific Knowledge** **4**: 20-28.
- Cardoso, M.M.L., Souza, J.E.R.T., Crispim, M.C. & Siqueira, R.. 2012. Diversidade de peixes em poças de um rio intermitente do semiárido paraibano, Brasil. **Biotemas**, **25**: 161-171.
- Esteves, F.A. 1998. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência - Finep.
- Farias, G.B., Silva, W.A.G. & Albano, C. 2005 Diversidade de aves em áreas prioritárias para a conservação da Caatinga.Pp. 206-228. In: **Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- França, F., E. Melo, A.G. Neto, D. Araújo, M. Bezerra, H.M. Ramos, I. Castro & D. Gomes. 2003. Flora vascular de açudes de uma região do semiárido da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **17**: 549-559.
- Gil, A.S.B. & Bove, C.P. 2004. O gênero *Eleocharis* R. Br. [Cyperaceae] nos ecossistemas aquáticos temporários da planície costeira do Estado do Rio de Janeiro. **Arquivos Museu Nacional** **62**: 131-150.
- Giulietti, A.M., R.M. Harley, L.P. Queiroz, M.R.V. Barbosa, A.L. Bocage Neta & M.A. Figueiredo. 2002. Espécies endêmicas da caatinga. Pp. 103-118. In: Sampaio, E.V.B., Giulietti, A.M., Virgínio, J. & Gamarra-Rojas, C. (Eds.). **Vegetação e Flora da Caatinga**. Associação Plantas do Nordeste - APNE & Centro Nordestino de Informação sobre Plantas – CNIP, Recife.

- Gopal, B. & Junk, W.J. 2000. Biodiversity in wetlands: in introduction. Pp 1-10. In: B. Gopal, Junk W.J. & Davis J.A. (Eds.). **Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation**. Leiden: Backhuys Publishers.
- Junk, W.J. 1980. Áreas inundáveis: Um desafio para Limnologia. **Acta Amazonica 10**: 775-795.
- Maltchik, L. 2000. As lagoas temporárias do semi-árido. **Ciência Hoje 28**:67-70.
- Maltchik, L. 2006. Conservation importance of semi-arid streams in north-eastern Brazil: implications of hydrological disturbance and species diversity. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 16**: 665-677.
- Moura-Júnior, E.G.; M.C. Abreu, W. Severi & G.A.S.T. Lira. 2011. Are floristic composition, richness and life forms of aquatic macrophytes affected by the dam-river gradient of the Sobradinho Reservoir? **Rodriguesia 62**: 731-742.
- Moura-Júnior, E.G.; Lima, L. F.; Silva, S. S. L.; Paiva, R. M. S.; Ferreira, F. A.; Zickel, C. S. & Pott, A. Aquatic macrophytes of Northeastern Brazil: Checklist, richness, distribution and life forms. **Check List 9**: 298-312.
- Odum, Eugene P. 1988. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.
- Palombo, C. P. 1997. **Determinação do padrão fenológico de *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms (aguapé) e *Pistia stratiotes* L. (Alface d'água)**. Departamento de Ecologia Geral, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 213 p. Tese (Doutorado).
- Panosso, R.F. Muehe, D. & Esteves, F.A. 1995. Morphological characteristics of an Amazon floodplain lake (Lake Batata, Pará State, Brazil). **Amazoniana 8**: 245-258.
- Pedro, F., Maltchik, L. & Bianchini J.R., 2006. Hydrologic cycle and dynamics aquatic macrophytes in two intermittent rivers of the semiarid region of Brazil. **Brazilian Journal of Biology 2**: 575-585.
- Pereira, G.A. 2010. Avifauna associada a três lagoas temporárias no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Atualidades Ornitológicas 156**: 53-60.
- Piedade, M.T.F.; Junk, W.J. & Long, S.P. 1991. The productivity of the C4 grass *Echinochloa polystachya* on the Amazon floodplain. **Ecology 72**: 1456-1463.
- Pompêo, M.L.M. & Henry, R. 1996. Variação sazonal dos teores de N e P no sedimento do rio Paranapanema [zona de desembocadura na represa de Jurumirim, SP]. **Anais do I Simpósio de Ciências da Engenharia Ambiental**, I Simpósio do Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos, CRHEA/EESC/USP, p. 135-137.
- Richmond, A. (Ed). 2004. **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. Oxford: Blackwell Science.
- Santos, D. A.R. & Morais, F. 2012. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Lago Verde como Subsídio à Compartimentação do Relevo da Região de Lagoa da Confusão – To. **Revista Geonorte 3**: 617-629.
- Seshavatharam, V. 1990. Traditional uses and problem of noxious growth. Pp 201-218. In: Gopal, B. (Ed.). **Ecology and management of aquatic vegetation in the Indian subcontinent**. Cap 9. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Sobral-Leite, M., M.J.A. Campelo, J.A. Siqueira-Filho & S.I. Silva. 2010. Checklist das macrófitas vasculares de Pernambuco: riqueza de espécies, formas biológicas e considerações sobre distribuição. Pp. 253-280. In: Albuquerque, U.P., Moura, A.N. & Araujo, 3.L. (Ed.). **Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos**. Volume II. Recife: Nuppea.
- Telino-Júnior, W. R., Lyra-Neves, R. M. & J. L. X. Nascimento. 2005. Biologia e composição da avifauna em uma Reserva Particular do Patrimônio Natural da caatinga paraibana. **Ornithologia 1**: 49-57.
- Tundisi, J.G. 1986. The Lobo (Broa) Ecosystem. **Ciencia Interamericana 25**: 18-31.

# AQUATIC MACROPHYTES OF THE PANTANAL, BRAZIL

**Vali Joana Pott, Arnildo Pott, Fernando Alves Ferreira  
& Ana Carolina Vitório Arantes**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Departamento de Biologia,  
Herbário CGMS, Campo Grande, MS, Brazil.

[vali.pott@gmail.com](mailto:vali.pott@gmail.com)

## Introduction

The Brazilian Pantanal is the largest continuous wetland on Earth, being considered as one of the four centers of diversity of aquatic plants in Brazil (Pedralli 1992). It is a favorable area for many aquatic plants, from the majestic *Victoria amazonica* (Poepp.) J.C. Sowerby, to the tiniest angiosperm, *Wolffia brasiliensis* Wedd. Diversity of aquatic macrophytes in the Pantanal is associated with the diversity of habitats, to the wide Neotropical distribution of species (Pott & Pott 2011), and to the flood pulse, which is the seasonal effect in water bodies, under variable hydrological influxes in intensity and frequency, depending on localization on the floodplain, and on its degree of association with water courses (Junk *et al.* 1989; Wantzen *et al.* 2005). In aquatic environments, “connectivity is a link between the elements and processes of a system, which is defined by its state variables in space and time” (Neff & Poi de Neff 2003).

The floristic composition of aquatic communities depends on water origin, depth and residence time, availability of nutrients, sediments, turbidity, type of water body, seed bank and propagules, etc. Species composition varies much among water bodies, even adjacent, due to such differences.

Our interest on aquatic macrophytes of the Pantanal increased with a course on aquatic plants given by Dr. Christopher D.K. Cook, Dr. Bruno Irgang and Dr. Carlos Alfredo Joly, in 1987, in Corumbá, financed by OEA. The first work of the first author was her Master research on the tiny Lemnaceae (now Lemnoideae) of the Pantanal, and culminated with the book “Plantas Aquáticas do Pantanal” (Pott & Pott 2000).

## Aquatic ecosystems of the Pantanal

Among many aquatic habitats, we point out meandering rivers, such as, the Paraguai river, the main one (Fig. 1A), old river beds (“corixos”), anabranches and oxbow lakes (Fig. 1B), seasonal streams (“vazantes”) (Fig. 1C), ponds (“baías”) (Fig. 1D), temporary ponds, brackish ponds (“salinas”), floodable grasslands (Fig. 1E), swamps, borrow pits and monodominant populations.

Regarding diversity of aquatic habitats, there are differences influenced by types of sediments and of water bodies in the 11 physiognomically distinct sub-regions, shown on the map of the Pantanal in Pott & Pott (2011), modified from Silva & Abdon (1998). So, Nhecolândia and Aquidauana have mainly closed drainage, with ponds little connected with rivers (see Google Earth, 19°28′31.21″S – 56°15′25″W), while the Abobral sub-region receives river overflow. In most sub-regions grasslands predominate, under

flood/dry regime mainly dependent on local rain, with open drainage, through seasonal shallow streams. During flood, submerged seedlings of aquatic macrophytes appear on floodable grasslands, such as *Cabomba furcata* Schult. & Schult. f., and the seasonal streams have banks of *Ludwigia inclinata* (L. f.) P.H. Raven, forming yellow mats of emergent flowers, plus rooted floating *Nymphaea oxypetala* Planch. and *Luziola subintegra* Swallen, of running water. The Paraguai river floodplain has almost permanently flooded areas, with anabranches, oxbow lakes, large lakes, with floating mats, floating meadows, wild rice (Fig. 1F) and *Polygonum* stands (Fig. 2A) (Pott & Pott 2011, Catian *et al.* 2012, Cunha *et al.* 2012).

In backswamps occur dense stands of *Aspilia latissima* Malme, of the initial phase of succession to riparian forest. Floating mats of *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth, *E. crassipes* (Mart.) Solms, or *Pontederia rotundifolia* L.f. or *Victoria amazonica* (Poepp.) J.C. Sowerby outcompeting *Paspalum repens* P.J.



**Figure 1.** Aquatic ecosystems of the Pantanal. **A.** Aquatic vegetation in the meandering Paraguai river, backswamps and oxbow lakes. **B.** Old river beds (“corixos”), anabranches and oxbow lakes, with aquatic macrophytes. **C.** Seasonal stream (“vazante”). **D.** Ponds (“baías”) in Nhecolândia, Pantanal floodplain. **E.** Floodable grassland. **F.** Wild rice, in large lake, Pantanal. Photos: A. Pott.

Bergius (Fig. 2B), or *Panicum dichotomiflorum* Michx., or and *P. elephantipes* Nees ex Trin. They buffer waves and so help to stabilize river banks. Many Cyperaceae grow on edges of water bodies or rooted on organic submerged floating substrate (histosoil) of floating meadows, which in advanced phase of succession support shrubs and treelets (Pott & Pott 2003).



**Figure 2.** Riverine monodominant macrophytes (A, B), palmlands (C, D, E) and silted river overflow with submerged macrophytes (F). **A.** Stand of *Polygonum ferrugineum*, Paraguai river floodplain, Pantanal. **B.** Stand of *Victoria amazonica* outcompeting *Paspalum repens*, Paraguai river backswamps, Pantanal. **C.** *Mautitia* palmland (“buritizal”), with floodable native grassland, eastern border of the Pantanal. **D.** *Mautitia* palmland (“buritizal”) in seasonal stream, with aquatic macrophytes typical of Pantanal, e.g. *Hydrocleys nymphoides* (Willd.) Buch. **E.** Silted stream, with dying *Mauritia* palm, by erosion on cleared sandy slopes, upper basin of the Taquari river, sediments later carried to the lower basin in the Pantanal. **F.** Paraguai Mirim, with transparent waters and large submersed populations of *Ludwigia inclinata*, on permanently flooded areas due to overflow of the silted Taquari river, Pantanal. Photos A-B, D-F: A. Pott. Photo C: V.J. Pott.

There are some reports on aquatic ecosystems of the Pantanal: floating meadows (Da Silva 1984, Pivari *et al.* 2008), floristics, dynamics and distribution of aquatic macrophytes (Pott *et al.* 1989, 1992, 1999, 2011), seasonal succession (Prado *et al.* 1994), and floodable grasslands (Schessl 1999). Only few taxonomic works: Nymphaeaceae (Pott, 1998), Lemnaceae (Pott & Cervi 1999), Characeae (Bueno *et al.* 1996; Bueno & Bicudo 1997), Pontederiaceae (Sanchez *et al.* 1999) and the genus *Aeschynomene* (Lima *et al.* 2006), and soon, Alismatales and Nymphaeales in Biota Neotropica, for Mato Grosso do Sul. The most extensive publication on aquatic macrophytes is an identification guide (Pott & Pott 2000).

## Monodominant populations

The main monodominant aquatic plant communities are: “caetezal” – dominated by fireflag *Thalia geniculata* L.; “pirizal” – giant sedge - *Cyperus giganteus* Vahl; “taboal” -- cattail *Typha dominicensis* Pers.; “baceiro” – floating meadow - *Oxycaryum cubense* (Poepp. & Kunth) Lye; and “buritizal” – buriti palmland - *Mauritia flexuosa* L.f. Restricted to the eastern edge of the plain (Silva *et al.* 2000), in seasonal streams, the palm swamp in the Pantanal contains seasonally flooded native grassland (Fig. 2C) or aquatic species (Fig. 2D) typical of the Pantanal, different from the *vereda* wetlands on the upper basin, with predominant filiform graminoids.

## Diversity of aquatic plants of the Pantanal

We compiled an updated checklist of aquatic macrophytes for the Pantanal, yet unpublished. We surveyed primary and secondary data including the previous list (Pott & Pott 1997) and 247 species illustrated in “Plantas Aquáticas do Pantanal” (Pott & Pott 2000), as well as specimens of the herbaria CGMS and CPAP. So far, we identified 61 families (APG III 2009), 138 genera and 308 species of aquatic macrophytes for the Pantanal. The richest families are Poaceae (29 species), Cyperaceae (25), Onagraceae (19), Fabaceae (17), Plantaginaceae (16) and Alismataceae (15), and the richest genera *Ludwigia* (19), *Bacopa* (12), *Cyperus* (10), *Utricularia* (10), *Echinodorus* (8) and *Nymphaea* (7). So, we achieved an increase in species compared to the previous lists. Moreover, the present flora of aquatic macrophytes for the Pantanal shows more than half of the estimated species richness for entire Brazil. Nevertheless, the richness is slightly below that reported for the coastal plain of Rio Grande do Sul (331 species) (Irgang & Gastal 1996). However, we believe that our number of species could rise with more botanical exploration.

Aquatic plants are often hard to identify due to the wide phenotypical plasticity, for their heterophylly, and to deficient material in herbaria, generating taxonomic confusion. For example, *Echinodorus* is a group of difficult identification, but Lehtonen (2008) and Lehtonen & Myllys (2008) elucidated many synonyms, joining molecular and morphological analyses. Lehtonen (2008) cited the voucher numbers of Pott & Pott (2000), so we could update our list.

## Conservation of the Pantanal

We consider that aquatic habitats in the Pantanal are yet relatively in good state of conservation and that no plant species is threatened by extinction, even outside protected areas. However, there are two major problems, one is silting, caused outside the plain, and another internal, by exotic plants.

Unstable sandy soils of cleared slopes on the upper basin of the Taquari river are under severe erosion. Although *Mauritia* palm wetlands (*veredas*) are not under intense use in Mato Grosso do Sul,

they were the first damaged by silting (Fig. 2E). The lower Taquari river bed was silted by sediments from that accelerated erosion, and periodically dry grasslands were replaced by swampy vegetation (Pott & Pott 2005; 2011). The woody vegetation also died and floating meadows of *O. cubense* took over. Hence, the loss of habitats reduced species diversity. The flooded areas by the lower Taquari increased from 3.24 km<sup>2</sup> in 1966 to 36.38 km<sup>2</sup> in 1995 (Abdon *et al.* 2005), and this delta keeps growing. Nowadays the overflow from the lost river runs northwestward, where flooded areas such as Rio Negrinho and Paraguai Mirim have transparent waters, with large submerged populations of *Ludwigia inclinata*, etc. (Fig. 2F). Good for aquatic plants, bad for other vegetation types.

In general, due to the wet-and-dry cycle, there are few plants which become weeds in the Pantanal, as it happens with *E. crassipes* (water hyacinth) in hydroelectric reservoirs and in other countries. However, a collective threat to the aquatic macrophytes is the invasion of the exotic *Urochloa arrecta* (Hack. ex T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga (tanner-grass) (often wrongly referred to as *Brachiaria subquadripara* (Trin.) Hitchc.), water dispersed on islets of floating vegetation and that invades aquatic vegetation, reducing populations and species diversity, in clayey sub-regions, such as the National Park of the Pantanal. Another exotic grass, less aquatic, *Panicum repens* L. (torpedo-grass) is already naturalized in floodable sandy areas. The recent cultivar Tupy of *U. humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga, claimed to be flood tolerant, could become an invader. We can foresee the entrance of the feared *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, which already invaded the river Paraná floodplain (Thomaz *et al.* 2009), as tubers or seeds could be carried stuck on boats.


For conservation of the Pantanal, maintenance of the dynamics of the aquatic vegetation should be considered in regard to its associated fauna, e.g., the floating meadow is an important nesting site of the caiman (Coutinho & Campos 2011).

## References

- Abdon, M.M.; Silva, J.S.V. da & Souza, M.P. 2005. Impacto da inundação sobre as fitofisionomias da Planície do Baixo Taquari. Pp. 295-319. In: Galdino, S.; Vieira, L.M. & Pellegrin, L.A. (Eds.). **Impactos Ambientais e Socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari-Pantanal**. Corumbá, Embrapa Pantanal. Available from: [www.cpap.embrapa.br/publicações/online/livro025.pdf](http://www.cpap.embrapa.br/publicações/online/livro025.pdf). Cited 2013 Feb 3.
- Angiosperm Phylogeny Group 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society** **161**: 105-121.
- Bueno, N.C. & Bicudo, C.E.M. 1997. Characeae (Charophyceae) do Pantanal do Mato Grosso do Sul: *Nitella*. **Hoehnea** **24**(2): 29-55.
- Bueno, N.C.; Bicudo, C.E.M.; Picelli-Vicentim, I. & Ishii, I.H. 1996. Characeae (Charophyceae) do Pantanal de Mato Grosso do Sul, 1: *Chara*. **Hoehnea** **23**(2): 21-31.
- Catian, G.; Leme, F.M.; Francener, A.; Carvalho, F.S.; Galletti, V.S.; Pott, A.; Pott, V.J.; Scremin-Dias, E. & Damasceno-Junior, G.A. 2012. Macrophyte structure in lotic-lentic habitats from Brazilian Pantanal. **Oecologia Australis** **16**(4): 782-796.
- Coutinho, M. & Campos, Z. 2011. Ecology and management of Caiman yacare (Daudin 1802) of the Brazilian Pantanal. In: Junk, W.J.; Da Silva, C.J.; Nunes da Cunha, C. & Wantzen, K.M. (Eds.). Pp: 649-672. [chapter 23]. **The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland**. Sofia-Moscow, Pensoft Publishers.
- Cunha, N.L.; Delatorre, M.; Rodrigues, R.B.; Vidotto, C.; Gonçalves, F. 2012. Structure of aquatic vegetation of a large lake, western border of the Brazilian Pantanal. **Brazilian Journal of Biology** **72** (3), 519-531
- Da Silva, C.J. 1984. Nota prévia sobre o significado biológico dos termos usados no Pantanal Mato-grossense, «batume» e «diquada». **Revista Universidade Federal de Mato Grosso**, 30-36.
- Irgang, B.E. & Gastal Jr., C.V. de S. 1996. **Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS**. Porto Alegre, [s.n.]. 290 p. il.

- Junk, W.J.; Bayley, P.B. & Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in River-Floodplain-Systems. **Canadian Special Publications for fisheries and aquatic Sciences 106**: 110-127.
- Lehtonen, S. 2008. An integrative approach to species delimitation in *Echinodorus* (Alismataceae) and the description of two new species. **Kew Bulletin 63**:525-563.
- Lehtonen, S. & Myllis, L. 2008. Cladistic analysis of *Echinodorus* (Alismataceae): simultaneous analysis of molecular and morphological data. **Cladistics 24**: 218-239.
- Lima, L.C.P.; Sartori, A.L.B. & Pott, V.J. 2006. *Aeschynomene* (Leguminosae, Papilionoideae, Aeschynomeneae) no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Hoehnea 33**(4): 419-453.
- Neiff, J.J. & Poi de Neiff, A.S.G. 2003. Connectivity processes as a basis for the management of aquatic plants. Pp. 39-58 In: Thomaz S.T. & Bini, M.B. (Eds.) **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá, EDUEM.
- Pedralli, G. Macrófitos aquáticos: centros de diversidade. 1992. **Ciência Hoje 14**(79): 56-57.
- Pivari, M.O.D.; Pott, V.J. & Pott, A. 2008. Macrófitas aquáticas de ilhas flutuantes (baceiros) nas sub-regiões do Abobral e Miranda, MS, Brasil. **Acta Botanica Brasílica 22**: 559-567.
- Pott, A. & Pott, V.J. 2005. Alterações florísticas a planície do Baixo Taquari. In: Galdino, S.; Vieira, L.M. & Pellegrin, L.A. Pp. 261-293. (Eds.) **Impactos ambientais e sócio-econômicos na Bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá, Embrapa Pantanal. Available from: [www.cpap.embrapa.br/publicações/online/livro025.pdf](http://www.cpap.embrapa.br/publicações/online/livro025.pdf). Cited 2013 Feb 3.
- Pott, V.J. 1998. A família Nymphaeaceae no Pantanal, MS, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasílica 12**(2): 183-194.
- Pott, V.J.; Bueno, N.C.; Pereira, R.A.C.; Salis, S.M. & Vieira, N.L. 1989. Distribuição de macrófitas aquáticas numa lagoa na fazenda Nhumirim, Nhecolândia, Pantanal, MS. **Acta Botanica Brasílica 3**(2): (supl.) 153-168.
- Pott, V.J.; Bueno, N.C. & Silva, M.P. 1992. Levantamento florístico e fitossociológico de macrófitas aquáticas em lagoas da fazenda Leque, Pantanal, MS. In: Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo, 8., 1990, Campinas. **Anais...** Campinas, SBSP, p. 91-99.
- Pott, V.J. & Cervi, A.C. 1999. A família Lemnaceae Gray no Pantanal (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), Brasil. **Revista Brasileira de Botânica 22**: 153-174.
- Pott, V.J.; Cervi, A.C.; Bueno, N.C. & Pott, A. 1999. Dinâmica da vegetação aquática de uma lagoa permanente da Fazenda Nhumirim, Pantanal da Nhecolândia - MS. Simpósio Sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal - Manejo e conservação, **2**. 1996. Corumbá, MS. **Anais...** Corumbá, Embrapa Pantanal, 226-235.
- Pott, V.J. & Pott, A. 1997. Checklist das macrófitas aquáticas do Pantanal, Brasil. **Acta Botanica Brasílica 11**(2): 215-227.
- Pott, V.J. & Pott, A. 2000. **Plantas aquáticas do Pantanal**. Brasília, EMBRAPA, 404 p. il.
- Pott, V.J. & Pott, A. 2003. Dinâmica da vegetação aquática do Pantanal. Pp. 143-162. In: Thomaz S.T. & Bini, M.B. (Eds.) **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá, EDUEM.
- Pott, V.J. & Pott, A. 2011. Species diversity, distribution, and biomass of aquatic macrophytes. Pp. 257-279. (chapter 10). In: Junk, W.J.; Da Silva, C.J.; Nunes da Cunha, C. & Wantzen, K.M. (Eds.). **The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland**. Sofia-Moscow, Pensoft Publishers.
- Pott, V.J.; Pott A.; Lima, L.C.P.; Moreira, S.N. & Oliveira, A.K.M. 2011. Aquatic macrophyte diversity of the Pantanal wetland and upper basin. **Brazilian Journal of Biology 71**(1): (suppl.) 255-263.
- Prado, A.L.; Heckman, C.W. & Martins, F.M. 1994. The seasonal succession of Biotic Communities in Wetlands of the Tropical Wet-and-Dry Climatic Zone: II. The Aquatic Macrophyte Vegetation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie 79**(4): 569-589.
- Sanches, A.L.; Cervi, A.C. & Pott, V.J. 2000. Levantamento Taxonômico de Pontederiaceae Kunth do Pantanal nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Brasil. Simpósio Sobre Recursos Naturais e Socio-Econômicos do Pantanal - Os desafios do novo milênio, 3, 2000, Corumbá, MS. **Anais...** Corumbá, Embrapa Pantanal, CD-ROM, pdf, 29p.



- 
- Schessl, M. 1999. Floristic composition and structure of floodplain vegetation in the northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Phyton 39**: 303-336.
- Silva, J.S.V. & Abdon, M.M. 1998. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 33**: 1703-1711.
- Silva, M.P. da; Mauro, R.; Mourao, G. & Coutinho, M. 2000. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica 23**(2): 143-152. Available from: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-84042000000200004&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042000000200004&lng=pt&nrm=iso). Cited 2014 Mar 5.
- Thomaz, S.M.; Carvalho, P.; Padial; A.A. & Kobayashi, J.T. 2009. Macrophytes in the Upper Paraná River floodplain: long term patterns over large spatial scales. **Brazilian Journal of Biology 69**: 617-625.
- Wantzen K.M.; Drago, E. & Da Silva, C.J. 2005. Aquatic habitats of the Upper Paraguai River-Floodplain-System and parts of the Pantanal (Brazil). **Ecohydrology & Hydrobiology 6**(2): 107-126.

# BREVE RESEÑA DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS DE LA ORINOQUIA

**Anabel Rial B.**

Consultor independiente.

[rialanabel@gmail.com](mailto:rialanabel@gmail.com)

## La cuenca del Orinoco

La cuenca del Orinoco, la mayor unidad de relieve homogéneo al norte de Suramérica (San José y Mazorra 1998) es un complejo geoestructural de 981.446 km<sup>2</sup> compartido por Colombia y Venezuela, con una superficie de drenaje de  $1 \times 10^6$  Km<sup>2</sup> (Meade *et al.* 1983) que desemboca en el océano Atlántico a través de su delta al este de Venezuela; limita al norte con la cordillera de la costa, al oeste con la cordillera de los Andes y al sur con el Escudo de Guayana y la Amazonía. Es la tercera cuenca mas caudalosa del mundo y la vigésima más extensa según la UNESCO (1979). En ella se encuentra el tercer humedal mas grande del subcontinente: los llanos inundables del Orinoco, formando parte de uno de los tres grandes paisajes o regiones diferenciables en la Orinoquia: 1) la Región llanos, de relieve plano o levemente ondulado y de origen aluvial reciente (Cenozoico- cuaternario), 2) Región Guayana: asentada sobre una de las mas antiguas (Precámbrico) placas del planeta, el Escudo Guayanés y 3) Región orinoquia andina: de relieve montañoso, originado por movimientos sísmicos y actividad volcánica en la era secundaria (Mesozoico).

## *Ambientes acuáticos*

La Orinoquia andina es especialmente importante por sus ambientes de páramo, sin embargo haremos referencia aquí, a la Orinoquia llanera y guayanesa, cuyos ambientes acuáticos muy diversos pueden diferenciarse por la circulación, permanencia y tipo del agua (Sioli 1984). Desde el piedemonte hasta el delta, se disponen ambientes lénticos y lóticos, permanentes o temporales, de aguas blancas (turbias, ricas en nutrientes y pH cercano al neutro), claras (menos turbias, pH neutras o levemente ácidas) o negras (transparentes, pobres en nutrientes y pH ácido) dulces y salobres (Fig. 1A-C) que albergan comunidades vegetales acuáticas de composición dinámica en el tiempo.

Los cuerpos de agua con escasa circulación del agua (lénticos), están bien representados en la sabana inundable por los esteros, bajos o bajíos, lagunas, madre viejas y zurales.

El sistema lótico lo conforma una red que deriva de los 52 afluentes principales del río Orinoco (Lasso *et al.* 2013) y sus cientos de ríos y caños, riachuelos y cañadas hasta el propio delta. Estos ríos y caños de los llanos del Orinoco son de aguas blancas y claras y sus nacientes están en el piedemonte o en la misma planicie de inundación. En la Guayana son de aguas negras, se originan en las mesetas y piedemontes rocosos de los Tepuyes y descienden siguiendo cursos meándricos hasta las planicies inundables, formando rápidos o raudales, saltos y caídas libres de pequeñas o grandes dimensiones como la del Salto Ángel (la mayor del mundo) del río Caroní. En el Delta -una llanura fluvio - marina compuesta por sedimentos, turba y arcillas marinas-, desembocan todas las



**Figura 1.** A: Ambiente léntico llanero (foto de A. Rial). B: Ambiente lótico de influencia guayanesa (foto de A. Rial). C: Morichal llanero (foto de K. Hernández)

aguas del Orinoco, blancas, claras y negras a las que se suman las mareas, que determinan el nivel de inundación, creando un régimen hidrométrico oscilante para las praderas enraizadas y flotantes de los caños (Colonnello 1995). Otro tipo de ambiente acuático característico de la Orinoquia llanera hasta el Delta, es el morichal, un ecosistema dominado por la palma acuática *Mauritia flexuosa* cuya función es de gran importancia para esta región.

En el gran humedal de los Llanos del Orinoco, las sabanas son predominantes, siendo particularmente relevantes para las plantas acuáticas, las del tipo inundable, cuyo microrelieve, presente en

ambos países, ha sido definido en Venezuela por Ramia (1967) como de banco-bajío y estero. En estas planicies inundables los diversos cuerpos de agua lénticos y lóticos, permanentes y temporales, anegables (aguas de origen pluvial) o inundables (aguas de desborde de ríos y caños) y someros, son de suelo arenosos o arcilloso-limosos, de aguas blancas y claras y están sometidos al determinante pulso de inundación anual. El régimen bimodal de lluvia-sequía y su concomitante dinámica hidrológica anual, determina entre otras variables, la composición de especies de plantas acuáticas de estas llanuras, las cuales al igual que en otros humedales de Suramérica, muestran una variación espacio-temporal y un proceso de reemplazo dinámico, poco predecible en el tiempo.

### *El concepto de planta acuática y la riqueza de especies en la Orinoquia*

Los valores de riqueza de especie en determinados ambientes, dependerán de lo que se defina como planta acuática. El mayor conocimiento de la dinámica espacio temporal de los ecosistemas acuáticos Suramericanos ha ampliado el concepto en las últimas décadas. En este caso, la variedad de cuerpos de agua, su dinámica temporal, en concordancia con el régimen hidrológico, son espacio y tiempo para una amplia gama de bioformas y ecofenos de plantas acuáticas que deben ser consideradas en su mas amplia expresión ecológica. En la cuenca del Orinoco, nos referimos a plantas acuáticas cuando se trata de vegetales cuya plasticidad genotípica, les permite completar su ciclo vital en ambientes con inundaciones y sequías alternantes mediante diversos fenotipos y adaptaciones ecológicas que se expresan en las distintas fases (ecofases) del hidoperíodo (sequía, entrada de aguas, aguas altas, bajada de aguas) (Rial 2009). Dependiendo de la variación en la cantidad y calidad del agua en un ambiente, es posible encontrar mas de una forma en la misma planta. Es decir, la presencia natural de todos los fenotipos de un individuo, producidos dentro de un hábitat y dados por un solo genotipo (Neiff *et al.* 2004), ecofenos de la misma especie en suelo seco (ecofase terrestre) e inundado (ecofase acuática) (Fig. 2A-B). Esta es una característica que define a las plantas acuáticas de los grandes humedales de Suramérica, como los llanos del Orinoco. Siguiendo observaciones previas (Rial 2003, 2009) consideramos planta acuática al conjunto de vegetales de los ecosistemas inundables o anegables que completan sus ciclos vitales durante el ciclo hidrológico anual así:

- 1) indistintamente en agua o en suelos casi secos y sobreviviendo al siguiente ciclo.
- 2) mediante visibles modificaciones morfológicas (ecofenos) en ambos períodos (lluvia y sequía) y con floración durante la ecofase acuática.
- 3) sin variaciones morfológicas y con floración durante la ecofase terrestre.

## **Riqueza de especies**

En las regiones llanera y guayanesa de la cuenca binacional del Orinoco se estima la presencia de unas 300 especies de plantas acuáticas, de las cuales 171 ya han sido registradas en el Delta del Orinoco (Colonnello 2004), 198 en los llanos inundables (Rial 2009) y mas de 200 en las planicies inundables del Orinoco-Guayana (Sanoja *et al.* 2010) en Venezuela. Del lado colombiano se registraron recientemente mas de 200 especies pertenecientes a mas de un centenar de géneros. En los Llanos de ambos países la riqueza de especies se distribuye en unas 60 familias, de las cuales Cyperraceae y Poaceae son siempre las mas abundantes - con mas de 30 especies cada una-, definiendo así el ecosistema de sabana. Otras familias frecuentes con cerca de una decena de especies son las compuestas (Asteraceae), los jacintos de agua, boras o camalotes (Pontederiaceae) y las ludwigias (Onagraceae), también las Rubiaceae, Alismateaceae, Araceae, Eriocaulaceae y Euphorbiaceae con



**Figura 2.** A. *Caperonia palustris*, ecofase acuática. B. *Caperonia palustris*, ecofase terrestre. (fotos de A. Rial)

menos de 10 especies cada una. Las familias Eriocaulaceae, Podostemaceae y Xyridaceae, son típicas de las aguas negras de la Guayana de Venezuela (Edo. Bolívar) y Colombia (Dto. Guainía y porciones del Vichada y Meta) incluyendo a *Macarenia clavigera* P. Royen, endémica de ambientes de influencia guayanesa en Colombia, como la Serranía de la Macarena.

La mayoría de las especies de plantas acuáticas se distribuye ampliamente en la Orinoquia; mientras que algunas son más susceptibles al tipo de agua y su circulación. Aquellas poco selectivas, algunos ejemplos se muestran en el Cuadro 1, crecen indistintamente en aguas blancas, claras o incluso negras y hasta eutroficadas, en sistemas lénticos o lóticos (usualmente márgenes o remansos) de suelos arenosos o arcillosos. Las especies más selectivas, restringen su hábitat a determinadas condiciones, por ejemplo las Podostemaceas, cuyas especies habitan adheridas a las rocas, requieren de rápidos y saltos de agua que quedan eventualmente expuestos al aire durante la sequía, para su reproducción (ecosafe terrestre). Esta familia de plantas acuáticas, incluye 26 especies solo en la Guayana de Venezuela (Berry 2004) (*Apinagia* Tul., *Jenmaniella* Engl., *Maranthrum* Bonpl. *Mourera* Aubl. *Osarya* Tu & Wedd., *Rhyncholacis* Tul) además del nuevo género *Autana* C.T. Philbrick y la especie *A. andersonii* descritos recientemente por Philbrick *et al.* (2011), provenientes de cuatro ríos afluentes del Orinoco en Venezuela. En la Orinoquia de Colombia esta familia ha sido menos estudiada y la especie más conspicua es *Macarenia clavigera*. Sin embargo, es probable la presencia algunas especies de *Apinagia*, *Weddelina*, *Maranthrum* y *Rhyncholacis* que habitan en la Amazonía de este país. Así pues, en los ambientes guayaneses de la Orinoquia, de suelos arenosos y rocosos y aguas ácidas encontramos especies, algunas de las cuales mostramos en el Cuadro 2, que están ausentes o no son frecuentes en los humedales llaneros.

Como hemos visto, pueden diferenciarse los cuerpos de agua de suelo arenoso o rocoso y aguas más ácidas de la Guayana, versus aquellos más arcillosos o limosos y de aguas blancas o claras -de origen andino- en los llanos. En la Guayana, las sabanas inundables de arenas blancas, los raudales, saltos, zonas torrentosas o charcos sobre lajas marginales a los ríos de aguas negras de esta región, son ambientes propios de algunas especies menos frecuentes o ausentes de los llanos inundables.

**Cuadro 1.** Ejemplo de especies de plantas acuáticas de distribución amplia en la Orinoquia.

*Azolla caroliniana* Willd.

*Caperonia palustris* (L.) St. Hill

*Ceratopteris pteridoides* (Hook.) Hieron

*Cyperus luzulae* (L.) Rottb. Ex Retz.

*Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth.

*E. crassipes* (Mart.) Solms

*Limnobium laevigatum* (H&B ex Willd) Heine

*Ludwigia decurrens* Walt.

*Mimosa pigra* L.

*Pistia stratiotes* L.

*Ricciocarpus natans* L.

*Salvinia auriculata* Aubl.

**Cuadro 2.** Ejemplo de especies de plantas acuáticas de distribución restringida en la Orinoquia.

*Abolboda pulchella* Bonpl.

*Callisia filiformis* (M. Martens & Galeotti) D.R. Hunt.

*Chelonanthus alatus* (Aubl.) Pulle

*Coutoubea minor* Kunth

*Coutoubea reflexa* Benth

*Drosera biflora* Willd. ex Schult

*Drosera cayennensis* Sagot ex Diels

*Hydrocotyle umbellata* L.

*Macarenia clavigera* P. Royen

*Melananthus ulei* Carvalho

*Pachyloma huberoides* (Naudin) Triana

*Paspalum conjugatum* P.J. Bergius

*Perama galioides* (Kunth) Poir.

*Sauvagesia erecta* L.

*Tonina fluviatilis* Aubl.

*Utricularia simulans* Pilg.

Por otra parte, la riqueza de plantas acuáticas en los ambiente lénticos es mayor que en los lóticos. Como sucede en otras regiones, los ríos de esta cuenca albergan menos cantidad de especies vegetales que los cuerpos de aguas tranquilas, a menos que estén represados -pasando a comportarse como sistemas lénticos- en cuyo caso la riqueza y especialmente la abundancia de ciertas especies dominantes aumenta. También hay que considerar los microambientes marginales, en donde una menor incidencia de la corriente favorece la presencia de vegetación acuática y el asentamiento de islas flotantes que dejan de ir a la deriva por los cauces. En los ríos en los que la fluctuación del nivel del agua en lluvias y sequía es mayor de 1 o 2 metros, la vegetación acuática suele ser marginal y estar compuesta por especies de amplia distribución en la cuenca como *Heliotropium procumbens* Mill., *Mimosa* spp y *Ludwigia* spp. Cerca del cauce, las orillas pueden ser el hábitat eventual de especies flotantes como *Pistia stratiotes* L. y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. que quedan retenidas entre restos de material vegetal como ramas y troncos de árboles, de las islas flotantes que divagan río abajo. Cuando se trata de caños, cursos de agua de menor magnitud y cuyas márgenes son menos abruptas, las gramíneas y ciperáceas frecuentemente forman colonias en las orillas, siendo común el género *Paspalum* en aguas blancas, claras y negras.

Los morichales de los llanos en Venezuela y Colombia, constituyen un sistema complejo (González y Rial 2011; Lasso *et al.* 2013) dominado por la palma acuática *M. flexuosa* que alberga comunidades vegetales de variada composición y estructura (Fernández 2007) dependiendo de la variante fisionómica de este ecosistema. En la Orinoquia los morichales se disponen en la sabana (llanos y Guayana) y en el Delta. Y pueden ser incluso, transiciones entre morichal y herbazal de pantano en el que dominan ciperáceas (*Rhynchospora* spp, *Cyperus haspan* L., *C. luzulae* (L.) Rottb. Ex Retz., *Eleocharis* spp ) y Ludwigias; o morichales de sabana en donde el caño es de menor dimensión, predominando un pantano o una laguna de aguas transparentes en donde las utricularias (Lentibulariaceae)

- *Utricularia breviscapa* Wr. Ex Griseb, *U. foliosa* L., *U. hispida* Lam., *U. hydrocarpa* Vahl y *U. myrioscista* A. St. Hill & Girard son abundantes, siempre en presencia de las ciperáceas y de otras especies de familias frecuentes: Eriocaulaceae, Xyridaceae, Pontederiaceae, Araceae, Nyphaeaceae, Alismataceae.

Por su parte, la riqueza de plantas acuáticas de las sabanas inundables, suele ser mayor en los sistemas lénticos y durante las lluvias y aguas altas. Son mayoritariamente de hábito arraigado emergente y en menor proporción sumergidas, dada la escasa transparencia del agua en los llanos; este hábito de crecimiento o bioforma, se encuentra en los llanos solo en aquellas lagunas y márgenes de esteros anegables, es decir que se llenan con agua de lluvia, en morichales de suelos arenosos o en las aguas transparentes de algunas lagunas y pequeños caños de la Guayana. En el gran humedal llanero las dos familias mejor representadas son de nuevo Poaceae y Cyperaceae y en conjunto con el resto de especies, conforman comunidades muy dinámicas espacio-temporalmente, que se reemplazan durante todo el ciclo anual (Rial 2004a, b) desempeñando una función vital en los ecosistemas acuáticos y terrestres de la Orinoquia.

## Referencias

- Berry, P. E. 2004. Podostemaceae. Pp. 301–316. En: P. E. Berry, K. Yatskievych y B. K. Holst (Eds.), **Flora of the Venezuelan Guayana**, Vol. 8. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Colonnello, G. 1995. La vegetación acuática del Delta del río Orinoco. (Venezuela) Composición florística y aspectos ecológicos (I). **Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle 144**: 3-34.
- Colonnello, G. 2004. Las planicies deltaicas del río Orinoco y golfo de Paria: aspectos físicos y vegetación. Pp. 37-54. En: Lasso, C. A., Alonso, L. E.; Flores, A. L. y Love, G. (Eds.). **Rapid assessment of the biodiversity and social aspects of the aquatic ecosystems of the Orinoco Delta and the Gulf of Paria, Venezuela**. RAP Bulletin of Biological Assessment 37. Conservation International. Washington DC, USA.
- Fernández, A. 2007. Los morichales de los llanos de venezolanos. Pp. 91-98. En: R. Duno, G. Aymard y O. Huber (Eds.). **Flora vascular de los llanos de Venezuela. Catálogo anotado e ilustrado**. FUDENA. Fundación Empresas Polar, Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas.
- González, V. & Rial, A. 2011. Las comunidad de morichal en los llanos orientales de Venezuela, Colombia y el delta del Orinoco. Impactos de la actividad humana sobre su integridad y funcionamiento. Pp 116-139 En: Lasso, C.; Rial, A., Matallana, C.; Ramírez, W., Señaris, J.; Diaz, A.; Corzo, G.; Machado-Allison, A. (Eds.) **Biodiversidad de la cuenca del Orinoco. II Areas prioritarias para la conservación y usos sostenible de la biodiversidad**. Instituto de Recurso Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle de Ciencias Naturales e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá. Colombia.
- Lasso, C., A. Rial & V. González. 2013 (Editores). Morichales y Canaguchales de Colombia y Venezuela. Parte I. **Serie recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales de Colombia**. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. 339 p.
- Meade, R. H., C. F. Nordin, D. Pérez-Hernández, A. Mejía, A. & J. H. Paredes Godoy. 1983. **Sediment and Water Discharge in Río Orinoco, Venezuela and Colombia**. Pp. 1134-44. Proceedings of the Second International Symposium on River Sedimentation, Water Resources and Electric Power Press, Beijing.
- Neiff, J. J.; Casco, S. L. & Arias, J.C.. 2004. Glosario de humedales de Iberoamérica. Pp. 336-380. In: Neiff, J.J. (Ed.). **Humedales de Iberoamérica**. CYTED, Subprograma XVII – Red Iberoamericana de Humedales. La Habana
- Philbrick, T., Malecki, J.; Ippery, N. & Stevens, H. 2011. A new genus of Podostemaceae from Venezuela. **Novon 21**:475-480.
- Ramia, M. 1967. Tipos de sabanas de los llanos de Venezuela. **Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales 27**: 264-288.
- Rial, A. 2003. El concepto de planta acuática en un humedal de los Llanos de Venezuela. **Memoria Fundación La Salle Ciencias Naturales 155**: 119-132

- Rial, A. 2004a. Acerca de la Dinámica temporal de la vegetación en un humedal de los Llanos de Venezuela. **Memoria Fundación La Salle Ciencias Naturales 158**: 59-71
- Rial, A. 2004b. Variabilidad espacio-temporal de las comunidades de plantas acuáticas en un humedal de los Llanos de Venezuela. **Revista de Biología Tropical 52**: 403-413.
- Rial, A. 2009. **Plantas acuáticas de los Llanos del Orinoco**. Editorial Orinoco-Amazonas Caracas. Editorial Orinoco-Amazonas, Caracas. 392 pp
- Sanoja, E.; Diaz, W.; Rosales, J. & Rodríguez, P.. 2010. Lista de especies de la Orinoquia Guayanesa seleccionadas siguiendo el criterio de subcuencas del Orinoco de la flora de la Guayana Venezolana. Anexo 1. Pp. 449-532. En: Lasso, C. J. Usma, F. Trujill y A. Rial (Eds.) **Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco. Bases científicas para la identificación de ñareas prioritarias para la conservación y usos sostenible de la biodiversidad**. Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, D. C., Colombia.
- San José, J. y Mazorra, M. 1998. Thenature of savannaheterogeneity in the Orinoco Basin. **Global Ecology and BiogeographyLetters 7**: 441-455
- Sioli, H. 1984. **The Amazon, Limnology and landscapeecology of a mightyriver and itsbasin**. Dr. W. JunkPublishers. Dordrecht.
- UNESCO 1979. **Balance hídrico mundial y recursos hidráulicos de la tierra**. Instituto de Hidrología. Estudios e informes sobre hidrología, 25. Edición del Centro de Estudios Hidrográficos de España.



# ORIGIN OF ASTERACEAE IN SOUTH AMERICA

**Liliana Katinas, Jorge Víctor Crisci and María José Apodaca**

División Plantas Vasculares, Museo de La Plata, La Plata, Argentina.

[katinas@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:katinas@fcnym.unlp.edu.ar)

## Introduction

For more than a century, workers have speculated on the place of origin of Asteraceae. For example, Bentham (1873) concluded that Africa, "West America", and possibly Australia were the homes of ancestral members of the family. Small (1919) estimated that the Asteraceae originated in the Amazon and northern Andes of South America. With the advance of molecular phylogenetic and biogeographic techniques and approaches, testable hypotheses about the origin of the family have been developed.

A major change in Asteraceae systematics took place in the late 1980s, when molecular evidence revolutionized the family phylogeny by demonstrating that part of tribe Mutisieae was the sister group to the rest of the family (Jansen & Palmer 1987). This basal branch in the family tree was reclassified out of Mutisieae and recognized as the subfamily Barnadesioideae (91 species in nine genera). In this way tribes formerly thought to be ancestral (e.g., Heliantheae sensu lato) were nested high in the phylogeny while tribes previously thought to be in a derived position (e.g., Mutisieae) were basal. That analysis also proposed successive early divergence of the subfamily Mutisioideae (the former tribe Mutisieae), a hypothesis supported by recent analyses (Funk *et al.* 2005, 2009). Mutisioideae sensu lato or s.l. (74 genera and ca. 865 species; Katinas *et al.* 2008) comprises several phylogenetic lineages (subfamily Mutisioideae sensu stricto with three tribes; subfamily Gochnatioideae with one tribe; subfamily Hecastocleidoideae with one tribe; subfamily Wunderlichioideae with one tribe and one clade; subfamily Pertyoideae with one tribe and one genus incertae sedis; and the tribe Stifftieae with three clades; Panero & Funk 2008, Funk *et al.* 2009). These branches are followed in sequence by the subfamily Carduoideae.

Barnadesioideae is endemic to South America, mainly distributed in the Andes of western South America extending into the Patagonian steppe east of the southern Andes, both regions characterized by grass- and shrub-steppe vegetation (Cabrera & Willink 1980). Genera of subfamily Mutisioideae s.l. are found on most continents except Europe and Antarctica, with most members inhabiting South America. When compared with the Mediterranean and African distribution of Carduoideae, the major concentration along the southern Andes and in Patagonia of Barnadesioideae and Mutisioideae s.l. becomes more evident (Fig 1).

The positioning of Barnadesioideae as the sister group of the rest of the family suggested new hypotheses regarding the place of origin of the family. Because Barnadesioideae are well represented in Patagonia, southern South America was postulated as the most likely area of origin of Asteraceae (Bremer 1992, Stuessy *et al.* 1996, Funk *et al.* 2005). In this way, the finding of fossils of early diverging lineages in this area is fundamental to tracing the biogeographic and evolutionary history of Asteraceae.

In this contribution we will briefly describe the fossil findings of Barnadesioideae and Mutisioideae s.l. in southern South America and the historical biogeographic methods applied to these groups that suggest a possible origin of the family Asteraceae in this area. We will also discuss the possible scenario that describes how the early members of the family dispersed from southern South America to the rest of the world.

## Fossils in South America

Patagonia, in southern Argentina, was thoroughly explored by paleontologists and represents today the richest area in the world containing fossils of the early branching lineages of Asteraceae. The most recent findings of these fossils are presented in Table 1.

Recently, the study of the fossil *Raiquenrayun cura* from the Middle Eocene (47.5 million years, Ma) of northwestern Patagonia resulted in the recognition of the first capitulum of Asteraceae in the fossil record (Barreda *et al.* 2010a, 2012). This fossil superficially resembles capitula of several modern Asteraceae showing a mosaic of morphological features of Mutisioideae s.l., Carduoideae and even Barnadesioideae, but it does not apparently match exactly any of these subfamilies and clearly represents an extinct taxon (stem representative). The characteristics of the fossil capitulum are: inflorescence cyme-like, few heads per plant, heads indeterminate, each with many flowers, involucre bracts in several series, imbricate without hyaline or scabrous margins, florets mostly of one type, some differentiation in floral morphology in peripheral florets possible but without true rays, and pappus of capillary bristles. The associated pollen grains to the fossil capitula correspond to *Mutisiapollis telleriae* and were helpful in determining the accurate taxonomic position of the megafossil within Asteraceae. *Mutisiapollis telleriae* has morphological features currently found in members of the basalmost branches of the family tree (Tab. 1), but that clearly exclude the subfamily Barnadesioideae. It comprises pollen grains with robust spines that are similar to pollen grains recorded from Miocene deposits off the west coast of Africa and referred to *Tubulifloridites* sp. (Partridge 1978). *Raiquenrayun cura* and *Mutisiapollis telleriae* are the oldest fossils of Asteraceae to date from Patagonia. It must be pointed out that fossil pollen and spores including *Tubulifloridites* sp. (Asteraceae) were recently collected from Eocene (55-48 Ma) ocean sediments off the Wilkes Land coast of East Antarctica (Pross *et al.* 2012). The discovery of fossils in Antarctica added an interesting new component to the past distribution of Asteraceae, broadening the possible area of origin of the family. Hence, it is possible that the ancestor of the Asteraceae and first members of the family were distributed either in southern South America, in Antarctica, or in an area involving both continents (Katinas *et al.* 2013).

In addition, several fossils of early-branching lineages of Asteraceae have been found from the Paleogene in southern South America (Barreda *et al.* 2010b) (Tab. 1). Oligocene pollen fossil records of *Mutisiapollis* spp. (*M. patersonii*, *M. telleriae* and *M. viteauensis*) from Australia and southern South America are always in trace amounts (less than 1%). *Mutisiapollis patersonii* is found from the early Oligocene of Australia (Macphail & Hill 1994), but it is not recorded until the Miocene in Patagonia. *Mutisiapollis viteauensis* is recorded from the Late Oligocene, but it is consistently present by the Miocene.

Early Miocene pollen records are characterized by the first reports of Calyceraceae (sister group of Asteraceae), Barnadesioideae (*Quilembaypollis* spp.) and Nassauvieae (*Huanilipollis* spp.). These new records, present always in very low abundances, have only been documented in southern South America.

The Late Miocene in southern South America is characterized by a further diversification of Asteraceae, particularly the tribe Astereae, and the increase in abundance of Barnadesioideae, Nassauvieae and Calyceraceae.

## Historical biogeographic studies

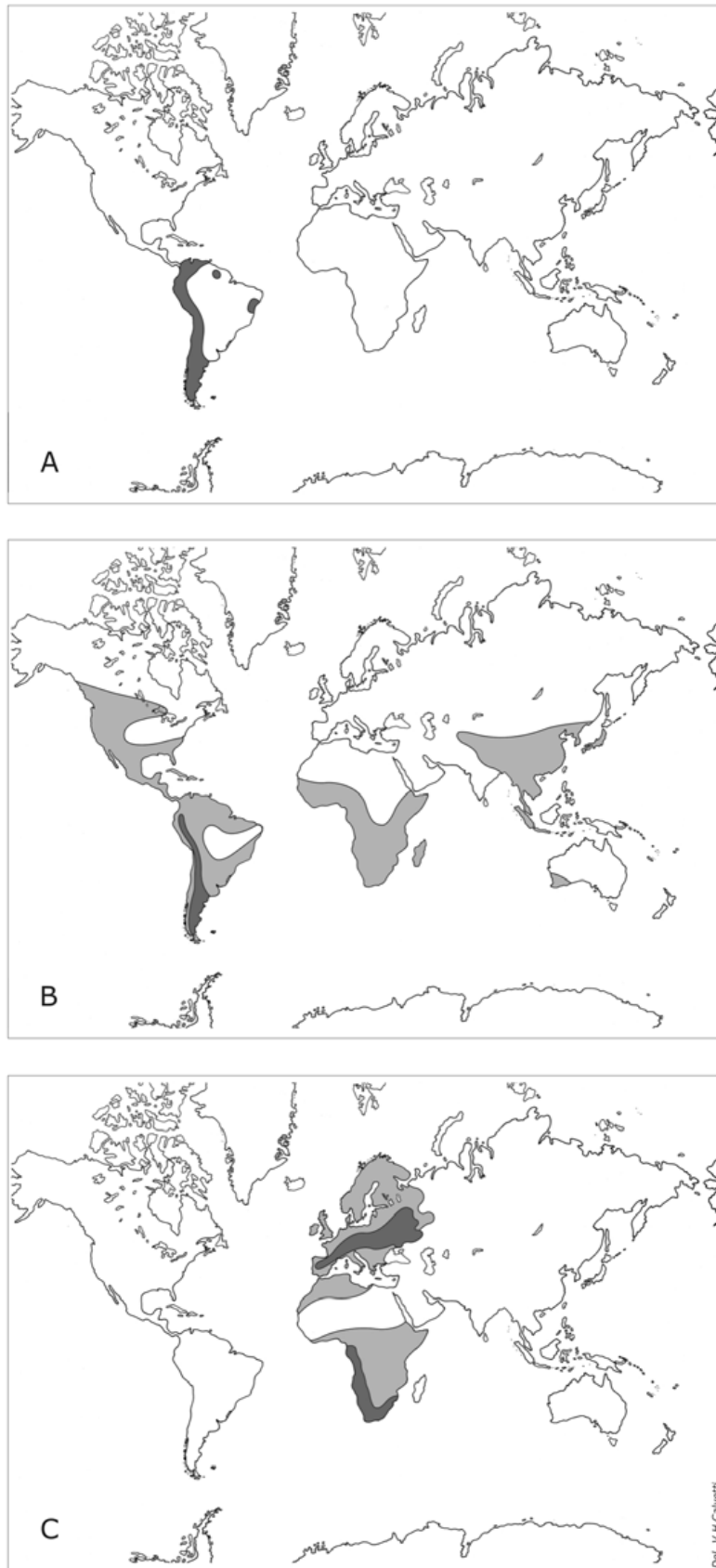
If the most-basal branches in the phylogenetic tree of Asteraceae (Funk *et al.* 2009) are South American and the next most-basal branches are African, an obvious question is how ancient members of the family reached Africa from its South American original area. Modern authors, even when

**Table 1.** Most recent findings of fossils of early diverging lineages of Asteraceae in Patagonia, southern South America. Ma: million years; s.l.: *sensu lato*.


Epoch and age	Morphotaxon	Type of fossil	Nearest living	Reference
Middle Eocene (47.5 Ma)	<i>Raiguenrayun cura</i>	Capitula	Mutisioideae s.l.: Stifftieae, Wunderlichioideae, Gochnatieae	Barreda <i>et al.</i> (2010a, 2012)
Middle Eocene (47.5 Ma)	<i>Mutisiapollis telleriae</i>	Pollen	Mutisioideae s.l.: <i>Gongylolepis</i> Carduoideae: Carduinae	Barreda <i>et al.</i> (2009, 2012), Telleria <i>et al.</i> (2010)
Late Oligocene (28-23 Ma)	<i>Mutisiapollis viteauensis</i>	Pollen	Mutisioideae s.l.: <i>Cnicothamnus</i> , <i>Actinoseris</i> , <i>Gochnatia</i>	Barreda (1993), Katinas <i>et al.</i> (2007)
Early Miocene (23-20 Ma)	<i>Huanilipollis cabreræ</i> <i>Huanilipollis criscii</i>	Pollen	Mutisioideae s.l.: Nassauvieae	Barreda <i>et al.</i> (2008)
Early Miocene (23-20 Ma)	<i>Quilembaypollis gamerroi</i> <i>Quilembaypollis tayuoides</i>	Pollen	Barnadesioideae: <i>Chuquiraga</i> , <i>Doniophyton</i> , <i>Dusenilla</i> . Dasyphyllum	Palazzesi <i>et al.</i> (2009)
Late Miocene (11-9 Ma)	<i>Great diversification of the Early Miocene morphotaxa</i>	Pollen	Mutisioideae s.l.: Nassauvieae	Barreda <i>et al.</i> (2008)
Middle/Late Miocene	<i>Mutisiapollis patersonii</i>	Pollen	Mutisioideae s.l.: <i>Mutisia</i> , <i>Chaetanthera</i> Carduoideae: <i>Echinops</i>	Palazzesi & Barreda (2004), Palazzesi (2008)
Late Miocene (11-9 Ma)	<i>Quilembaypollis stuessyi</i>	Pollen	Barnadesioideae: <i>Schlechtendalia</i>	Palazzesi <i>et al.</i> (2009)

proposing different biogeographic hypotheses, discarded a Gondwanan origin of the family involving vicariant events arguing that these events are too old for the presumed age of origin of Asteraceae. Vicariance is the biogeographic process by which a common ancestor was originally widespread in greater areas, which become fragmented, and its descendants have survived in the fragments until now. On the contrary, they propose that dispersal is the process involved to explain the distribution of members of the family. In the dispersal explanation, the range of the ancestral population was limited by a pre-existing barrier –such an ocean- which was crossed by some of its members. If they colonize the new area and remain isolated from the original population, they may eventually differentiate into a new taxon (Crisci *et al.* 2003).

Bremer (1994), for example, suggested the possibility of a Pacific-Asian dispersal route of Asteraceae from their ancestral area in South America via Hawaii, with further migration to other continents including Africa. With the advance of molecular systematics, the molecular cladograms were used in the context of a phylogenetic study to make further assumptions on dispersal and vicariance usually without and explicit application of a historical biogeographic method. For instance, many studies use the topology of the cladogram to explain a dispersal orientation of the group under study from the deeper branches to the top of the tree, using implicitly the assumptions of phylogenetic biogeography (Crisci *et al.* 2003). One of these assumptions is the progression rule (Hennig 1966), which



**Figure 1.** Maps showing the current distribution of members of the basalmost branches in the phylogenetic tree of Asteraceae. (A) Subfamily Barnadesioideae. (B) Subfamily Mutisioideae sensu lato. (C) Subfamily Cardoideae. Darker color = highest concentration.



establishes that the primitive members of a taxon are found closer to its center of origin than more derived ones. When this rule is applied to the molecular phylogenetic trees of Asteraceae, it supports a South American origin of the family because the basalmost branches in that trees are endemic to or mostly concentrated in South America. It was also suggested that several early successful colonization of areas outside South America may have resulted from two long distance-dispersal events, or possibly from stepping-stone migration across oceanic barriers from South America to North America and to Africa (Panero & Funk 2008).

In addition, Funk *et al.* (2005) applied the “Parsimony Optimization” option of MacClade (Maddison & Maddison 1992) and the Ancestral Areas approach (Bremer 1992) to the phylogenetic tree of Asteraceae for finding the origin area of the family. Both approaches share the assumptions of phylogenetic biogeography that the ancestral area is located in the deepest branches of the phylogenetic tree. In the first case, the distributions were mapped on the tree using the Farris double pass method (1970) and checked using the PAUP ‘Acctran’ option (Swofford 2002) and MacClade. These techniques provided the hypothesized distributions of the deep branches and nodes of the tree. At the base of the tree they obtained a Grade 1 primarily southern South American forming the base from just above the outgroups, and a Grade 2 representing an African grade with repeated radiations into other continents.

The Ancestral Areas approach applied by Funk *et al.* (2005) allows identifying the ancestral area of a group from the topological information of its cladogram. This method applies the assumptions that if areas are present on deep branches and are represented on numerous branches of the cladogram are more likely parts of the ancestral area of a given taxonomic group. The method applies the irreversible Camin-Sokal parsimony algorithm to quantify the depth of the areas in the cladogram (the distance with respect to the basal nodes), and the number of times that each area is present in the cladogram. The number of gains and losses for each individual area are compared, and a high value of gain/losses quotient indicates a higher probability that the area was part of the ancestral area (Crisci *et al.* 2003). The results of Funk *et al.* (2005) showed that southern South America with G/L of 2.40 could be considered as the most likely candidate for the position of the ancestral area of Asteraceae regarding other areas (Brazil, Andes, North America, Asia, Guiana Shield) with quotient values less than 1.

Therefore, compared to alternative and more complex biogeographical scenarios, and taking into account the fossil records, the probable area of origin of Asteraceae is southern South America (and possibly Antarctica), and the most plausible explanation for the presence of members of the family in Africa involves a trans-oceanic dispersal from South America.

## Early evolution and dispersal of the family

The early evolution and past ecology of the Asteraceae is best understood within the context of the source assemblage where *Raiquenrayun cura* was found, in Río Pichileufú. The middle Eocene Río Pichileufú (northwestern Patagonia) flora ranks among the most diverse compression-impression floras ever found in the fossil record. An equable climate with relatively warm and humid conditions may have supported highly diverse multilayered vegetation with canopy trees, vines, shrubs, ground cover and aquatic plants (Wilf *et al.* 2009). The Eocene paleoclimatic scenario suggests a mean annual temperature estimate of  $19.2^{\circ} \pm 2.4^{\circ}\text{C}$  and a mean annual precipitation estimate of 2000 to 2500 mm, supporting this diverse subtropical vegetation on the northwestern Patagonian region, perhaps with some patches of drier areas. Early members of Asteraceae probably inhabited, and evolved, in dry or transitional zones between humid and dry areas, as the majority of current species do (Barreda *et al.* 2010a).

During the latest Eocene-Early Oligocene an expansion of micro- to mesothermal taxa occurred. Assemblages were fairly homogeneous in composition, dominated by developing forests of Nothofaga-

ceae, Podocarpaceae, Araucariaceae, Cunoniaceae *Weinmannia*, and Proteaceae *Lomatia* and *Embothrium*. The understory would have been composed of ferns and herbs (Gunneraceae, Menyanthaceae), indicating a high rainfall regime and temperate to cold-temperate climatic conditions. During the Late Oligocene-Early Miocene interval, new warming episodes allowed the expansion of megathermal and mesothermal angiosperms at middle-high latitudes of Patagonia. This was a transition time in the vegetation structure, from one dominated by forests to one in which shrubby and herbaceous elements, such as Asteraceae, became progressively important (Barreda & Palazzesi 2007).

At some point, early members of Asteraceae dispersed to Africa, but: How did members of Asteraceae reach Africa at a time when the Atlantic Ocean constituted a barrier between South America and Africa? Recently, Katinas *et al.* (2013) developed different scenarios regarding possible geographical and dispersal routes, and vectors of dispersion for the family. The evaluation of these scenarios suggests that early-branching lineages of Asteraceae had major opportunities to disperse from South America to Africa along an island chain formed by the Rio Grande Rise (southeast coast of Brazil at about 23° S) and the Walvis Ridge (southwest coast of Africa at about 35° S), which is now submerged. The slight morphological differences of African fossil pollen regarding their relatives in South America and current giant-rosette shrubby habit in some carduoid descendants (Oldenburgiaceae) compatible with island environments are features congruent with ancestral evolution in islands during the dispersal process. Since fossil pollen evidence in southern Africa indicates the existence of subtropical rain forests (Coetzee & Muller 1984) and subtropical-austrotemperate forest vegetation (Cowling *et al.* 2005) in these regions during the Tertiary not compatible with continental island-like environments, only the stable and suitable environments of oceanic islands could have allowed the time span for this process to occur and produce island-inhabiting plant features. Bird feathers most likely provided the primary vector for dispersion of the sticky fruits of Asteraceae, a well-documented mode of dispersal for the family in oceanic islands.

The distribution of another early-branching lineage of Asteraceae, the Barnadesioideae which lack sticky fruit hairs, provides indirect support for the importance of bird-mediated fruit dispersal since this subfamily occurs exclusively in South America. Transport of the pappus-bearing fruit by wind, on the other hand, provides more efficient dispersal on land surfaces and/or involving short distances. If falling into the ocean, fruits of early-branching lineages of Asteraceae would not have survived floating in the sea water. Although stepping-stone dispersal along islands involving birds was favored by Katinas *et al.* (2013) as the best scenario to explain how early-branching lineages of Asteraceae reached Africa from South America, alternative hypothetical modes and vectors such as floating-islands and sweepstakes dispersal (e.g., hurricanes), cannot be discounted as participants of the process.

It was postulated (Funk *et al.* 2009) that in parallel with the South American radiation of Mutisioideae and other groups, there was a much larger African radiation. From these radiations, Asteraceae probably diversified into the other continents, resulting in the current widespread distribution of the family.

## References

- Barreda, V.D. 1993. Late Oligocene? Miocene pollen of the families Compositae, Malvaceae and Polygonaceae from the Chenque Formation, Golfo San Jorge basin, southern Argentina. **Palynology** **17**:169-186.
- Barreda, V. & Palazzesi, L. 2007. Patagonian vegetation turnovers during the Paleogene-Early Neogene: Origin of Arid-Adapted floras. **The Botanical Review** **73**: 31-50.
- Barreda, V., Palazzesi, L., Tellería, M.C. 2008. Fossil pollen grains of Asteraceae from the Miocene of Patagonia: Nassauviinae affinity. **Review of Palaeobotany and Palynology** **151**: 51-58.

- Barreda, V.D., Palazzesi, L. & Marensi, S. 2009. Palynological record of the Paleogene Rio Leona Formation (southernmost South America): stratigraphical and paleoenvironmental implications. **Review of Palaeobotany and Palynology** **154**: 22-33.
- Barreda, V.D., Palazzesi, L., Tellería, M.C., Katinas, L., Crisci, J.V., Bremer, K., Passalia, M.G., Corsolini, R., Rodríguez Brizuela, R. & Bechis, F., 2010a. Eocene Patagonia fossils of the daisy family. **Science** **329**: 1621.
- Barreda, V.D., Palazzesi, L., Tellería, M.C., Katinas, L. & Crisci, J.V. 2010b. Fossils indicate an explosive radiation of basal Asteracean lineages and allied families during Oligocene and Miocene times in the Southern Hemisphere. **Review of Palaeobotany and Palynology** **160**: 102-110.
- Barreda, V.D., Palazzesi, L., Katinas, L., Crisci, J.V., Tellería, M.C., Bremer, K., Passalia, M.G., Bechis, F. & Corsolini, R. 2012. An extinct Eocene taxon of the daisy family (Asteraceae): evolutionary, ecological, and biogeographical implications. **Annals of Botany** **109**: 127-134.
- Bentham, G., 1873. Notes on the classification, history, and geographic distribution of Compositae. **Journal of the Linnean Society, Botany** **13**: 335-577.
- Bremer, K., 1992. Ancestral areas: a cladistic reinterpretation of the center of origin concept. **Systematic Biology** **41**: 436-445.
- Bremer, K., 1994. **Asteraceae: Cladistics and Classification**. Portland, Timber Press.
- Cabrera, A.L. & Willink, A. 1980. **Biogeografía de América Latina**. Serie de Biología, Monografía 13. Washington, D.C., O.E.A.
- Coetzee, J.A. & Muller, J. 1984. The phytogeographic significance of some extinct Gondwana pollen types from the Tertiary of the southwestern Cape (South Africa). **Annals of the Missouri Botanical Garden** **71**: 1088-1099.
- Cowling, R.M., Procheş, Ş. & Vlok, J.H.J. 2005. On the origin of southern African subtropical thicket vegetation. **South African Journal of Botany** **71**: 1-23.
- Crisci, J.V., Katinas, L. & Posadas, P. 2003. **Historical biogeography: An Introduction**. Boston, Harvard University Press.
- Farris, J.S. 1970. Methods of computing Wagner trees. **Systematic Zoology** **19**: 83-92.
- Funk, V.A., Bayer, R.J., Keeley, S., Chan, R., Watson, L., Gemeinholzer, B., Schilling, E., Panero, J.L., Balwin, B.G., Garcia-Jacas, N., Susanna, A. & Jansen, R.K. 2005. Everywhere but Antarctica: using a supertree to understand the diversity and distribution of Compositae. **Biologiske Skrifter** **55**: 343-374.
- Funk, V.A., Susanna, A., Stuessy, T.F. & Bayer, R. (Eds.). 2009. **Systematics, Evolution and Biogeography of the Compositae**. IAPT, Vienna.
- Hennig, W. 1966. **Phylogenetic Systematics**. Urbana, University of Illinois Press.
- Jansen, R.K. & Palmer, J.D. 1987. A chloroplast DNA inversion marks an ancient evolutionary split in the sunflower family (Asteraceae). **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** **84**: 5818-5822.
- Katinas, L., Crisci, J.V., Tellería, M.C., Barreda, V. & Palazzesi, L. 2007. Early history of Asteraceae in Patagonia: evidence from fossil pollen grains. **New Zealand Journal of Botany** **45**: 605-610.
- Katinas, L., Pruski, J. Sancho, G. & Tellería, M.C. 2008. The subfamily Mutisioideae (Asteraceae). **The Botanical Review** **74**: 469-716.
- Katinas, L., Crisci, J.V., Hoch P., Tellería, M.C. & Apodaca, M.J. 2013. Trans-oceanic dispersal and evolution of early composites (Asteraceae). **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics** **15**: 269-280.
- Macphail, M.K. & Hill, R.S. 1994. K-Ar dated palynofloras in Tasmania 1: Early Oligocene, *Proteacidites tuberculatus* zone sediments, Wilmot Dam, northwestern Tasmania. **Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania** **128**: 1-15.
- Maddison, W.P. & Maddison, D.R. 1992. **MacClade: Interactive analysis of phylogeny and character evolution, version 3.0**. Sunderland, Sinauer Associates, Inc.
- Palazzesi, L. 2008. **Palinología de las Formaciones Gaiman y Puerto Madryn en el área de Península Valdés (noreste del Chubut): Edad, correlación y ambiente de sedimentación**. PhD Dissertation. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

- Palazzesi, L. & Barreda, V. 2004. Primer registro palinológico de la Formación Puerto Madryn, Mioceno de la provincia del Chubut, Argentina. **Ameghiniana** **41**: 355-362.
- Palazzesi, L., Barreda, V. & Tellería, M.C. 2009. Fossil pollen grains of Asteraceae from the Miocene of Patagonia: Barnadesioideae affinity. **Review of Palaeobotany and Palynology** **155**: 83-88.
- Panero, J.L. & Funk, V.A. 2008. The value of sampling anomalous taxa in phylogenetic studies: major clades of the Asteraceae revealed. **Molecular Phylogenetics and Evolution** **47**: 757-782.
- Partridge, A.D. 1978. Palynology of the Late Tertiary sequence at the site 365, Leg 40, Deep Sea Drilling Project. **Reports of the Deep. Sea Drilling Project** **40**: 953-961.
- Pross, J., Contreras, L., Bijl, P.K., *et al.* (more than 300 coauthors). 2012. Persistent near-tropical warmth on the Antarctic continent during the early Eocene epoch. **Nature** **488**: 73-77.
- Small, J. 1919. The origin and development of the Compositae. **New Phytologist** **18**: 1-35.
- Stuessy T.F., Sang T. & DeVore M.L. 1996. Phylogeny and biogeography of the subfamily Barnadesioideae with implications for early evolution of Compositae. Pp. 463-490. In: Hind D.N.N & Beentje, H. (Eds.) **Compositae: Systematics**. Royal Botanical Garden, Kew, Proceedings of the International Compositae Conference.
- Swofford, D.L. 2002. **PAUP\*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (\* and other methods). Ver. 4.0b10**. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates.
- Tellería, M.C., Barreda, V., Palazzesi, L. & Katinas, L. 2010. Echinate fossil pollen of Asteraceae from the Late Oligocene of Patagonia: an assessment of its botanical affinity. **Plant Systematics and Evolution** **285**: 75-81.
- Wilf, P., Little, S.A., Iglesias, A., Zamaló, M.C., Gandolfo, M.A., Cúneo, N.R. & Johnson, K.R. 2009. *Papuacedrus* (Cupressaceae) in Eocene Patagonia: A new fossil link to Australasian rainforests. **American Journal of Botany** **96**: 2031-2047.






# PATTERNS OF EVOLUTION IN PACIFIC COMPOSITAE (ASTERACEAE)

**Vicki A. Funk**

Smithsonian Institution, Department of Botany, Washington, DC., USA.

[funkv@si.edu](mailto:funkv@si.edu)

The Compositae (Asteraceae) family is the largest flowering plant family with ca. 25,000 species. Its members have successfully colonized the Pacific Islands 38-43 times (Indigenous clades) resulting in 36 genera (six with more than one introduction) and 164 species. Phylogenies have been generated for all but two of the species and so it is now possible to examine the patterns of evolution in the Pacific. Dominating the family phylogenies are a few clades that have successfully colonized three archipelagos: Hawaii, Marquesas and the Society Islands. Of the large radiations two have remained unstudied on a global scale: *Bidens* (41 Pacific species) and *Melanthera* (23). Phylogenies for these two genera have been produced, including a large selections of outgroups, and we now have a better understanding of their radiation in the Pacific. When these data are combined with existing phylogenies for the remainder of the Pacific Compositae several conclusions can be made including these: the most likely means of colonization is long distance dispersal from the closest source area and the clades that are successful can be predicted based on the overall phylogeny of the family. There are a few novel events of interest, most in the Hawaiian Islands.



# PHYLOGENY AND DIVERGENCE TIME ESTIMATES OF TRANS-PACIFIC *LAGENOPHORA* CASS. (ASTEREAE, ASTERACEAE)

**Gisela Sancho<sup>1</sup>, Peter de Lange<sup>2</sup>, Mariano Donato<sup>3</sup>,  
John Barkla<sup>4</sup> and Steven J. Wagstaff<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>División Plantas Vasculares, Museo de La Plata, FCNyM, UNLP, Buenos Aires Argentina.

<sup>2</sup>Ecosystems and Species Unit, Department of Conservation, Auckland, New Zealand.

<sup>3</sup>ILPLA, Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet, FCNYM, UNLP, CONICET, Buenos Aires Argentina.

<sup>4</sup>Otago Conservancy, Department of Conservation, Dunedin, New Zealand.

<sup>5</sup>Allan Herbarium, Landcare Research, Lincoln, New Zealand.

Se han postulado diferentes hipótesis acerca de los patrones de distribución austral. Cómo esos procesos han afectado los diferentes grupos transpacíficos depende, en parte, de su edad estimada de origen. Siete de las catorce especies de *Lagenophora* son de Nueva Zelanda, tres de Australia, una de Asia y tres en los Andes de Sudamérica extendiéndose a islas remotas. Realizamos análisis independientes y combinados de secuencias de ADN de *Lagenophora* (ITS, ETS, *trnK* y *trnL*), incluyendo todas las especies del género y representantes de géneros cercanos. Además, exploramos los procesos evolutivos que pudieron ser responsables de su distribución austral. Análisis preliminares sugieren que *Lagenophora* no es monofilético. En el análisis combinado, las especies sudamericanas de *Lagenophora* fueron monofiléticas. Si este lugar se mantiene en el futuro, podría plantearse como escenario una reciente colonización de *Lagenophora* en Sudamérica.



# SYSTEMATICS OF *BACCHARIS* (ASTERACEAE: ASTEREAEE)

**Gustavo Heiden<sup>1,2</sup> & José Rubens Pirani<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Brasil.  
[gustavo.heiden@embrapa.br](mailto:gustavo.heiden@embrapa.br)

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.  
[pirani@usp.br](mailto:pirani@usp.br)

A comprehensive phylogenetic hypothesis for the predominantly Neotropical American megadiverse genus *Baccharis* (Asteraceae: Astereae) is necessary to test its monophyly and clarify the infrageneric relationships within the genus. Given its great morphological diversity and wide geographic distribution, phylogenetic studies based on molecular data to test the monophyly of the genus and investigate the relationships of its infrageneric groups are proposed, allowing the recognition and taxonomic revision of smaller and monophyletic taxa. Therefore, a phylogenetic hypothesis for *Baccharis* is discussed based on 248 species sampled, four molecular regions and Bayesian analyses. The results confirm subtribe Baccharidinae as a monogeneric lineage, and support a wide definition of *Baccharis s.l.*, monophyletic and including all genera that were previously segregated from it. Thus, comprehensive lists of infrageneric taxa and taxa accepted at species level were compiled to move towards a phylogeny-based infrageneric classification of *Baccharis*. The names accepted at species level totalize 433 taxa that should be assigned to the most inclusive infrageneric category possible in the light of the data currently available. The seven main lineages recovered should be treated at subgeneric level and a survey of names published in the ranks of sections accounted 68 sections, being 22 sections considered synonyms, though the number of accepted sections is supposed to decrease after future studies are accomplished with a larger sampling.



# PHYLOGENY OF *ALDAMA* (HELIANTHEAE: HELIANTHAE) BASED ON MULTI-LOCUS NUCLEAR DATA

**Benoît Francis Patrice Loeuille**

Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Recently, *Aldama* (Heliantheae: Helianthinae) has had its circumscription altered, with transference of almost all species belonging to *Viguiera* to it. In the last years, *Viguiera* has been object of several phylogenetic studies using molecular data, being shown that it does not constitute a monophyletic group in its current circumscription. Based on these phylogenies, clades with better support were elevated to genus level. However, the transference of South-American *Viguiera* species to *Aldama* remains controversial, since few South-American species were sampled in phylogenies and the genus is not well morphologically defined. *Aldama* represents a common case in Asteraceae, where none of the tested plastidial markers present enough variation and ribosomal DNA has a low variation on specific level. Despite data about hybridization and polyploidy in *Aldama* being scarce, these phenomena appear to be very frequent. Thus, ITS and ETS-based phylogenies may not be accurately representing the evolutionary history in Helianthinae. Developing new molecular markers, preferably low copy nuclear markers, is extremely important to understand evolutionary relationships in *Aldama* and in Helianthinae. Forty nuclear regions were selected based on their orthology (single-copy) and their phylogenetic informative content for the subtribe Helianthinae. Thirty-four species Brazilian *Aldama* species have been sampled as well as twelve members of Helianthinae subtribe and Andean *Aldama* species.

# FILOGENIA E PADRÕES BIOGEOGRÁFICOS DE *BIONIA* MART. EX BENTH. (PAPILIONOIDEAE: PHASEOLEAE – DIOCLEINAE)

**Adelina Vitoria Ferreira Lima & Luciano Paganucci de Queiroz\***

Programa de Pós-graduação em Botânica (Mestrado),  
Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil.

[adelina.bio@gmail.com](mailto:adelina.bio@gmail.com) e [luciano.paganucci@gmail.com](mailto:luciano.paganucci@gmail.com)

*Bionia* Mart. ex Benth. (Papilionoideae: Phaseoleae – Diocleinae) possui cinco espécies todas endêmicas do Brasil. O gênero concentra-se nas principais serras e planaltos da parte centro-leste do país em áreas de Campos Rupestres e Cerrado, apresentando na Cadeia do Espinhaço seu centro de diversidade e endemismo.

*Bionia* foi criado por Bentham e considerado, posteriormente, pelo mesmo autor como sinônimo de *Camptosema* W.J. Hook. & Arn. Entretanto, análises filogenéticas em Diocleinae indicaram o polifiletismo de *Camptosema*, permitindo o restabelecimento de *Bionia* por Queiroz. Morfologicamente o gênero foi caracterizado, principalmente, pelo hábito arbustivo, combinação de folhas pinadas trifolioladas e pecioladas ou simples e sésseis; flores com estandarte reto, não reflexo, que as deixam tubulosas; e pétalas glabras vermelhas.

A identificação de espécimes de *Bionia*, todavia, tornasse difícil devido à existência de indivíduos com caracteres intermediários, um exemplo bem marcante no gênero é *B. coriacea* (Nees & Mart.) Benth. que possui sinonimizadas propostas por Bentham e Lewis, uma vez que a espécie apresenta o maior polimorfismo do gênero. Esses indivíduos com morfologia intermediária pode estar relacionados à ocorrência de possíveis híbridos naturais em algumas populações simpátricas.

Algumas hipóteses foram testadas neste estudo a fim de avaliar o padrão de evolução de *Bionia* como (1) *Bionia* é um gênero de origem recente como é a maioria das linhagens de Cerrado e Campos Rupestres? (2) a filogenia do gênero está estruturada geograficamente entre os principais núcleos de Campos Rupestres na Cadeia do Espinhaço (Bahia e Minas Gerais)? (3) a taxonomia complexa do gênero, com vários intermediários, pode ser explicada pela diversificação recente do gênero?

As relações filogenéticas entre as espécies de *Bionia* foram investigadas através de análises filogenéticas (Parcimônia, Máxima Verossimilhança e Bayesiana), datação molecular (Beast), reconstrução de áreas ancestrais (S-diva) e redes (Dendroscope) baseados em sequências de DNA dos genomas nuclear e plastidial (ITS, ETS, *rpl32-trnL*, *trnQ-rps16*, *matK*, *trnL-trnF*), utilizando múltiplos acessos.

Estas análises indicaram que a incongruência entre dados moleculares e morfológicos e a estruturação geográfica podem ser resultado da diversificação recente, bem como da evolução reticulada das espécies das diferentes áreas de Campos Rupestres e Cerrado, as quais podem ter sido favorecidas por limitações de dispersão e sobreposição de florações. (SISBIOTA)

# EFEITO INDUZIDO PELO VÍRUS Y DA BATATA (*POTATO VIRUS Y*) NO METABOLISMO SECUNDÁRIO DO CAMAPU (*PHYSALIS ANGULATA* L.)

**Alice Nagai, Déborah Yara Alves Cursino dos Santos\*,  
Lígia Maria Lembo Duarte & Alexandre Levi Rodrigues Chaves**

Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação  
em Botânica (Mestrado), São Paulo, Brasil.

[alice.nagai@ups.br](mailto:alice.nagai@ups.br) e [dyacsan@ib.usp.br](mailto:dyacsan@ib.usp.br)

*Physalis* é uma palavra derivada do grego, na qual “*physis*” quer dizer bolha ou bexiga, fazendo referência ao cálice que encerra os frutos. Em um sistema agrícola, *P. angulata* é considerada uma planta daninha rústica, a qual é pertencente à Solanaceae e nativa da América tropical com distribuição pantropical. No Brasil, ocorre em todas as regiões, sendo popularmente conhecida como jóá-de-capote. É uma planta anual, herbácea, ereta, ramificada, possui o caule semi-suculento e glabro, medindo aproximadamente de 30 a 70 cm de altura e sua dispersão acontece através de sementes que possuem grande poder germinativo. Devido a sua boa adaptação, é encontrada com frequência infestando jardins, pomares, lavouras anuais e terrenos baldios.


Há pouca informação a respeito dos aspectos fitossanitários dessa espécie. Já foi relatada a ocorrência natural do *Potato virus Y*, estirpe O (PVY<sup>0</sup>), *Potyvirus*, em *P. angulata*, induzindo sintomas de mosaico severo. Infecções virais futuramente podem limitar o desenvolvimento desta cultura que possui elevado potencial para ser explorada comercialmente como frutífera e medicinal.

Devido aos escassos estudos sobre a interferência viral no metabolismo secundário das plantas, esse trabalho teve como objetivo geral avaliar a influência desses patógenos sobre alguns desses metabólitos. Para isso, foi utilizado como agente infectante o PVY - estirpe O (PVY<sup>0</sup>) e *P. angulata* como hospedeira.

Foram utilizadas plantas de *P. angulata* L, as quais foram mantidas em casa-de-vegetação com irrigação diária. Foram separados três lotes (Controle 1 – C<sub>1</sub>, Controle 2 – C<sub>2</sub> e Tratadas - PVY) com 50 plantas cada. Cada lote foi dividido em cinco repetições, sendo que cada repetição foi formada por 10 indivíduos. De cada indivíduo foram coletadas as folhas inoculadas (L) e as restantes (S). As análises em cada repetição foram feitas juntando o material dos 10 indivíduos. Após secagem das folhas, a massa foi dividida, sendo metade utilizada para a extração de compostos fenólicos e metade para extração de alcaloides.

Em C<sub>1</sub>, as plantas não foram submetidas a qualquer tratamento. As plantas de C<sub>2</sub> foram friccionadas com o tampão fosfato (TF) 0,01 M, pH 7,0 com auxílio de pistilo, nas folhas do quarto e quinto nós acima das folhas cotiledonares. No lote PVY as plantas foram inoculadas com o vírus diluído em TF friccionando as folhas do quarto e quinto nós acima das folhas cotiledonares.

As folhas para análise dos flavonoides e alcaloides foram coletadas no 21º dia, período de maior



concentração do vírus na planta. Foram coletadas dos lotes C<sub>2</sub> e PVY tanto as folhas friccionadas com o TF (C<sub>2</sub> - L) e as inoculadas com o vírus (PVY - L), quanto as folhas que não foram friccionadas (C<sub>2</sub> - S) e inoculadas (PVY - S). Para o lote C<sub>1</sub> foram coletadas as folhas dos quarto e quinto nós acima das cotiledonares formando a amostra C<sub>1</sub> - L e, separadamente, as folhas restantes (C<sub>1</sub> - S). As folhas friccionadas com o tampão e as inoculadas com o vírus (simbolizadas pela letra 'L' de local) foram coletadas separadamente das restantes (simbolizadas por 'S' de sistêmico).

Os resultados referentes aos alcaloides ainda precisam ser revisados, uma vez que não foi possível encontrar o alcaloide figrina que já foi descrito para essa espécie.

Não houve variação qualitativa dos flavonoides. Porém, houve variação quantitativa dos metabólitos analisados nas plantas de *P. angulata*. As respostas obtidas para o teor de fenóis totais, flavonoides totais e flavonoides obtidos por CLAE nos sítios de infecção viral local seguiram um padrão semelhante, com a maior porcentagem encontrada nas plantas em que não houve tratamento algum (C<sub>1</sub>), seguida das plantas infectadas (I) e a conseqüente menor porcentagem nas plantas friccionadas apenas com o tampão de inoculação (C<sub>2</sub>). Já os flavonoides obtidos por CLAE, na infecção sistêmica, não obedeceram a esse mesmo padrão, ocorrendo, de maneira geral, maior porcentagem dessas substâncias em C<sub>1</sub>, seguido de C<sub>2</sub> e em I, houve a menor porcentagem.

Se a resposta dos flavonoides fosse universal frente à infecção viral, os resultados obtidos nesse experimento seriam contraditórios aos da literatura. Entretanto, não é possível construir um quadro geral que explique a mudança metabólica do hospedeiro de um vírus, uma vez que os estudos feitos sobre a interação vírus-hospedeiro não observaram um padrão.

Já foi descrita atividade citotóxica de um flavonoide de *P. angulata* contra células de leucemia, carcinoma e adenocarcinoma. Além dessa atividade, já foram descritas diversas outras para o camapu. Dessa maneira, não é interessante que os metabólitos presentes na planta estejam em concentrações menores, o que poderia acarretar em menor atividade biológica. Assim, os resultados desse trabalho reforçam a importância do controle fitossanitário de plantas utilizadas como fonte para o preparo de extratos ou para o isolamento de substâncias com atividade descrita.

# DISENTANGLING THE LIANAS: SYSTEMATICS AND EVOLUTION OF TRIBE MERREMIEAE (CONVOLVULACEAE)

Ana Rita Simões<sup>1,2,3</sup>, Alastair Culham<sup>1</sup>, George Staples<sup>3</sup> & Mark Carine<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>University of Reading (PhD Program), Reading, United Kingdom.

<sup>2</sup>The Natural History Museum of London, London, United Kingdom.

<sup>3</sup>Singapore Botanic Gardens, Singapore.

[simoes.ana.convolv@gmail.com](mailto:simoes.ana.convolv@gmail.com) and [m.carine@nhm.ac.uk](mailto:m.carine@nhm.ac.uk)

Convolvulaceae is a family of lianas, herbs and subshrubs, common in the tropics and temperate areas. It is a clearly defined monophyletic family but the tribal and generic classifications are still subject to great debate. The taxonomic placement of Tribe Merremieae, in particular, has been very problematic: recent molecular studies showed that it is not monophyletic, and no clear morphological characters exist to define it. The generic delimitation within the tribe is also problematic, as well as the circumscription of its largest genus – *Merremia*. This genus is widely distributed in the tropics but its morphological characterisation is a great challenge to taxonomists; no clear synapomorphies exist and molecular studies have also demonstrated it is not monophyletic – it is effectively a taxonomic “dustbin”.


The present PhD thesis aimed at resolving the complicated systematics of Tribe Merremieae and particularly the complex taxonomy of *Merremia*, in the light of a molecular phylogenetic analysis.

A thorough morphological survey was based on herbarium specimens from A, AIGH, BCU, BK, BKF, BM, BR, E, COI, K, KEP, G, L, LISC, M, MICH, MEXU, MO, NY, PNH, SAN, SING, and SAR, complemented with observations from fieldwork in Singapore, Thailand and Cambodia (Oct.-Nov. 2009), Ethiopia (2011) and Sumatra (2012), and information from a wide range of taxonomic accounts. A data matrix of 43 vegetative and floral characters was compiled to record the morphological variation, with particular attention given to characters that are traditionally important for generic delimitation in Convolvulaceae, namely stigma shape, sepal shape and fruit dehiscence. A morphological cladistic analysis was produced which presented preliminary hypotheses of relationships between the taxa and provided guidelines for discovery of synapomorphies of species complexes. For the study of pollen morphology, samples were collected from herbarium specimens and analysed under SEM.

For molecular data, a new combination of nuclear and chloroplast genes was developed – ITS, trnL-F, matK and rps16 – which would provide the most resolution to the phylogeny of the group, and it was analysed by three different methods - Parsimony, Maximum Likelihood and Bayesian Inference.

As a result, new morphological and palynological variation was discovered, for example new fruits identified and several new types of pollen aperture patterns never described before in this group. The molecular phylogenetic resolved with high resolution the relationships between *Merremia* and its allied genera, and provided a solid framework for the taxonomic revision of the group. The morphological and palynological data were then analysed in search for evidence that supported the resolved monophyletic groups, and discovery of taxonomically useful characters, particularly at generic level.





As a consequence, a new classification was produced where the concept of Tribe Merremieae is rejected for lack of molecular and morphological evidence. *Merremia* is re-circumscribed and becomes mainly restricted to a small group of South East Asian prostrate herbs. New genera are described, and dramatic changes are proposed to the taxonomy of “Merremieae” across the tropics. In Central and South America, in particular, we propose that *Merremia* s.l. (pantropical) is no longer used, but be replaced by two new genera – *Distimake* and *Camonea* – which have a clearer morphological identity and more limited geographic circumscription.

The new classification that resulted from the present PhD study brings clarity to the placement of Tribe Merremieae and its genera, after centuries of debate. However, many questions remain to be addressed, namely more information is needed about the newly described genera, and certainly this work is a point from which more taxonomic, morphological and evolutionary studies can be developed.

# TAXONOMIA E FILOGENIA DE *POUTERIA* AUBL. (SAPOTACEAE) NA MATA ATLÂNTICA SETENTRIONAL

**Anderson Alves-Araújo & Marccus Alves\***

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (Doutorado), Recife, Brasil.

[sapotae@gmail.com](mailto:sapotae@gmail.com) e [marccus.alves@gmail.com](mailto:marccus.alves@gmail.com)

*Pouteria* possui cerca de 200 spp. com distribuição exclusivamente Neotropical. Táxon com ampla variabilidade morfológica que apresenta delimitação taxonômica e sistemática ainda obscura, suas espécies são primordialmente identificadas por meio de caracteres inexatos ou de ampla plasticidade fenotípica, tornando sua taxonomia de difícil resolução.

O presente trabalho teve como objetivo realizar estudos taxonômico, filogenético e de distribuição de *Pouteria* nativas da porção setentrional do Domínio da Mata Atlântica no Brasil.

As coletas foram realizadas em remanescentes de Mata Atlântica *sensu lato* nos estados de AL, BA, PB, PE e SE, além de visitas a acervos botânicos internacionais e nacionais (ASE, BHCB, CEPEC, G, HST, IPA, JPB, M, P, PEUFR, RB, UFP, UFRN, Z). A identificação dos táxons foi realizada com o auxílio de bibliografia específica, comparação de espécimes e análise de material-tipo e os dados morfológicos foram obtidos através da análise das exsicatas (~2.600 amostras) e coletas.

Os dados moleculares foram provenientes da extração, purificação, amplificação e sequenciamento da região ITS do nDNA de 66 acessos pertencentes a 55 espécies de Sapotaceae. Para as análises de máxima parcimônia utilizou-se o Paup 4.01 for Windows.

Um total de 34 táxons foi encontrado, dentre esses, seis novos para a ciência, apresentando os padrões de distribuição: amplo contínuo e disjunto (16 spp.), restrito ou endêmico e muito restrito ou micro-endêmico (nove spp. cada). São fornecidas atualizações nomenclaturais, propostas de sinonimização, chaves de identificação, descrições e ilustrações das espécies.

Morfologicamente, os caracteres venação foliar, tricomas, estames, estaminódios e frutos foram considerados de maior confiabilidade para distinção específica. Expressivo número de táxons é endêmico (18 spp.) e, segundo os critérios da IUCN, 19 das 34 espécies estão ameaçadas.

Os resultados filogenéticos demonstraram a formação de quatro clados distintos de *Pouteria* dispersos entre diferentes gêneros em uma politomia basal. O arranjo sistemático mostra a fragilidade da atual classificação de *Pouteria* e evidenciou a artificialidade das suas seções.

As análises mostraram-se bastante úteis para inferências filogenéticas em *Pouteria* demonstrando o não monofiletismo das seções e sugerindo a resolução de problemas taxonômicos tanto pela segregação quanto pela sustentação de táxons com alta plasticidade morfológica. (CAPES)

# FLORA DA BAHIA: BEGONIACEAE

**Bernarda de Souza Gregório<sup>1</sup>, Jorge Antonio Silva Costa<sup>2</sup>  
& Alessandro Rapini<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Botânica (Mestrado), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil; <sup>2</sup>Instituto Sosígenes Costa de Humanidades, Artes e Ciências, Universidade Federal do Sul da Bahia, Porto Seguro, Brasil.

[bernardasogreg@hotmail.com](mailto:bernardasogreg@hotmail.com); [rapinibot@yahoo.com.br](mailto:rapinibot@yahoo.com.br)

**B**egoniaceae é uma família comumente conhecida pelo seu potencial ornamental, conferido especialmente pela folhagem com diferentes cores e formas. Está distribuída nos trópicos e subtropicais, abrangendo cerca de 1.500 espécies e dois gêneros (*Begonia* L. e *Hillebrandia* Oliv.). A família é mais diversa na região Neotropical e na Ásia, habitando preferencialmente ambientes sombreados e com elevados índices higrométricos. No Brasil, ocorre somente *Begonia*, com 208 espécies, sendo 180 endêmicas e 27 raras. O centro de diversidade do gênero no país concentra-se na Mata Atlântica, sendo considerado o segundo gênero mais diverso nesse domínio fitogeográfico, atrás apenas de *Eugenia*. O presente trabalho teve por objetivo realizar o levantamento florístico de Begoniaceae no estado da Bahia, uma vez que suas espécies são pouco representadas em trabalhos sistemáticos.

O estado da Bahia está localizado na Região Nordeste, correspondendo ao quinto estado brasileiro em extensão territorial, com uma área de 564.692,67 km<sup>2</sup>. O clima varia de subúmido a úmido, nas planícies e planaltos costeiros; árido a semiárido, nas depressões periféricas e interplanálticas; e tropical de altitude, na Chapada Diamantina. Em seu território, são encontrados três domínios (Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica) e sua vegetação é variada, resultante da diversidade climática e topográfica. O estudo foi desenvolvido entre 2011 e 2013 e está baseado em análises de material botânico de 24 herbários nacionais e sete internacionais (exsicatas disponíveis on-line), além de expedições de campo, com material depositado no HUEFS.

No total, foram registradas 37 espécies na Bahia. O estado se destaca dentre os demais no Nordeste, abrigando a maior riqueza de espécies de *Begonia*. A maior parte delas ocorre na Mata Atlântica (31 espécies), quatorze são endêmicas da Bahia, e quatro são novas ocorrências para o Estado (*B. angularis* Raddi, *B. digitata* Raddi, *B. fagifolia* Otto & Dietr. e *B. lossiae* L.Kollmann). Também foram encontradas quatro espécies inéditas (*B. obdeltata* Gregório & E.L.Jacques; as demais estão em processo de publicação). Foi proposta a sinonimização de dez táxons, sendo quatro variedades e seis espécies: *B. bidentata* var *insularum* A.DC. (= *B. bahiensis* A.DC.), *B. cacaucicola* L.B.Sm. ex S.F.Sm. & Wassh., *B. membranacea* A.DC. e *B. neglecta* var *caulescens* A.DC. (= *B. neglecta* A.DC.), *B. epibaterium* var *angustialata* A.DC. (= *B. epibaterium* A.DC.), *B. euryphylla* L.B.Sm. ex S.F.Sm. & Wassh. (= *B. neocomensium* A.DC.), *B. petasitifolia* Brade (= *B. pernambucensis* Brade), *B. polygonifolia* var *differens* L.B.Sm. ex S.F.Sm. & Wassh. (= *B. polygonifolia* A.DC.), *B. russelliana* L.B.Sm. ex S.F.Sm. & Wassh. (= *B. subacida* Irmsch.) e *B. smilacina* A.DC. (= *B. glabra* Aubl.). Os caracteres morfológicos relacionados ao aspecto geral da lâmina foliar (forma, base, ápice e margem) e o tipo de indumento, apresentaram maior valor taxonômico para a distinção de boa parte das espécies. Foi elaborado um guia com fotos de representantes da família no estado (trabalho aceito, Field Museum) a fim de auxiliar na identificação em campo. O tratamento inclui descrição, chave de identificação, ilustrações, mapa de distribuição na Bahia e comentários para todas as espécies.

# INTERAÇÕES ECOLÓGICAS MEDIADAS POR NECTÁRIOS EXTRAFLORAIS EM ESPÉCIES DE *CHAMAECRISTA* MOENCH E *SENNA* MILL., EM ÁREAS DE CAATINGA

**Carlos Henrique Félix da Silva & Luciene Cristina Lima Lima\***

\*Universidade do Estado da Bahia, Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Vegetal (Mestrado), Paulo Afonso, Brasil.

[felix.caio3@gmail.com](mailto:felix.caio3@gmail.com) e [llima@gd.com.br](mailto:llima@gd.com.br)

Associações entre plantas e formigas têm sido bem documentadas, especialmente, em sistemas que envolvem nectários extraflorais (NEFs), cujas secreções fornecem uma fonte diversa de compostos que atraem inúmeros insetos, principalmente formigas, as quais são reportadas como benéficas às plantas hospedeiras por reduzir a ação de herbívoros.

Dois experimentos foram conduzidos, na Estação Ecológica Raso da Catarina, para avaliar a fenologia reprodutiva, mirmecofauna visitante e herbivoria em espécies dos gêneros *Chamaecrista* e *Senna*. No experimento I, a fenologia reprodutiva foi acompanhada mensalmente nas espécies *Chamaecrista tenuisepala* (Benth.) H.S.Irwin & Barneby, *Chamaecrista swainsonii* (Benth.) H.S.Irwin & Barneby, *Senna rizzinii* H.S.Irwin & Barneby e *Senna occidentalis* (L.) Link, além da caracterização da mirmecofauna visitante das glândulas extraflorais. Com o experimento II, avaliou-se a herbivoria foliar e a produção de frutos de *Senna occidentalis* e *Senna obtusifolia* (L.) H.S.Irwin & Barneby, na presença e ausência de formigas.

Para cada espécie foram selecionados 20 indivíduos com mesmo porte e estágio fenológico, sendo 10 designados ao controle – permanecendo em seu estado natural – e os outros 10 designados ao tratamento – em que formigas tiveram acesso impedido. De cada grupo, em cada planta, quinzenalmente, foi acompanhada a herbivoria e o número de frutos produzidos por planta. Formigas, herbívoros, visitantes dos nectários extraflorais e predadores não formicídeos foram coletados.

Em média, 18 espécies de formigas visitaram os NEFs das quatro espécies do primeiro experimento. As espécies de *Chamaecrista* divergiram das espécies de *Senna* quanto ao padrão, duração e sincronia de floração e frutificação. A floração de *Chamaecrista tenuisepala* correlacionou-se positivamente com a pluviosidade, ao passo que floração e frutificação de *Senna occidentalis* foram correlacionadas negativamente com a temperatura média. *S. occidentalis* e *S. obtusifolia* tiveram redução significativa nos níveis de herbivoria, assim como produziram mais frutos quando as formigas estiveram presentes. Contudo, esse mutualismo parece ser facultativo, como a maior parte das associações entre plantas portadoras de NEFs e predadores associados.

# DISPERSIÓN DEL PROTONEMA DE MUSGOS POR EL AGUA, EL VIENTO, Y UN ANIMAL

**Carlos J. Pasiche Lisboa & Inés Sastre-De Jesús\***

\*Universidad de Puerto Rico- Recinto de Mayagüez, Maestría en Biología Mayagüez, Puerto Rico.  
[carlos.pasiche@upr.edu](mailto:carlos.pasiche@upr.edu) y [ines.sastre@upr.edu](mailto:ines.sastre@upr.edu)

La dispersión permite la sobrevivencia de los briofitos, sin embargo ésta se ha estudiado mayormente con las esporas de estas plantas. Esto es debido a su diversidad genética y que su dispersión ayuda en la formación de nuevas poblaciones a largas distancias. No hay mucha información sobre la dispersión de las estructuras asexuales pero, se ha observado que éstas mantienen las poblaciones como resultado de su dispersión a corta distancia. Estas estructuras asexuales (e.g. bulbillos, gemas, ramas del gametofito, y protonema) son diversas; de éstas, no se conoce cómo se dispersa el protonema. En este estudio investigo cómo es la dispersión del protonema por medio del síndrome de dispersión de agua, viento, y animal. Dos musgos (*Taxiphyllum taxirameum* (Mitten) M. Fleischer y *Calliscostella belangeriana* (Besch.) A. Jaeger) fueron recolectados en los bosques de Puerto Rico y traídos al laboratorio de Briología Tropical de la Universidad de Puerto Rico-Mayagüez. Sus cápsulas se esterilizaron y luego se abrieron en un cultivo estéril de agar con MS. Se dejaron crecer en un periodo de luz 12/12 para producir el protonema. Luego de aumentar la cantidad de protonema, éstos fueron utilizados en los diferentes experimentos de dispersión. En los experimentos de dispersión por agua (gotas de agua) y viento se determinó: 1. la distancia a la que se dispersó, 2. cómo influyen las gotas caídas a diferentes alturas (1 y 2 m) o las velocidades ( $V_1=6.13\pm0.22$  mph y  $V_2=8.42\pm0.28$  mph) del viento en la distancia promedio al que fueron dispersados (respectivamente), y 3. la relación entre la distancia de dispersión y el tamaño del protonema. Para los tres síndromes se comprobó si el tratamiento afectó la sobrevivencia del protonema. El protonema puede ser dispersado por los tres síndromes. En el síndrome de agua, el protonema se dispersó hasta 45.50-51.5 cm para 1 m y 71.4-80 cm para 2 m. En el de viento, el protonema fue dispersado hasta 136.6-149.0 cm y 186.0-265.5 cm,  $V_1$  and  $V_2$  respectivamente. Además, a mayor la altura de la caída de las gotas o mayor la velocidad del viento, mayor fue la dispersión promedio del protonema. Pero, las características del protonema no parecen influir en la distancia dispersada promedio, tanto en la dispersión por agua como por viento. No hubo una relación entre el tamaño del protonema y la distancia dispersada para la dispersión por agua, y, ninguna o poca para la de viento. El protonema sobrevivió la dispersión por agua y viento, pero hubo mayor porcentaje de sobrevivencia en síndrome de agua que en el de viento. En el síndrome de dispersión por animal, el protonema sobrevivió el ser ingerida y excretada por el caracol (*Caracolus marginella* Gmelin). Esta investigación concluye que las distancias dispersadas por estos síndromes mayormente son a corta distancia y, en el de viento, se pueden considerar a larga distancia, manteniendo así las densidades de las poblaciones de musgos y o formando nuevas.

# ANÁLISIS MORFOLÓGICO, PALINOLÓGICO Y SISTEMÁTICO DE LAS ISOETALES DEL CONO SUR DE AMÉRICA DEL SUR

**Cecilia Macluf, Marta Morbelli\* & Gabriela Giudice\***

\*Universidad Nacional de La Plata, Doctorado en Ciencias Naturales, La Plata, Argentina.

[cmacluf@aol.com](mailto:cmacluf@aol.com) y [mmorbelli@rocketmail.com](mailto:mmorbelli@rocketmail.com)

La familia Isoetaceae tiene un único género *Isoetes* L., que junto con *Selaginella* P. Beauv. (Selaginellaceae) constituyen el grupo de las Lycophyta heterosporadas. *Isoetes* L. es un género ampliamente distribuido con cerca de 200 especies, de las cuales alrededor de 50 crecen en América y aproximadamente 35 tienen distribución al sur de los Estados Unidos.

Estas plantas muestran muy poca variabilidad morfológica, lo que dificulta la identificación de las especies, por lo que en general, las clasificaciones están basadas en caracteres palinológicos, con especial referencia a las características de las megasporas.

El objetivo de esta investigación es el estudio de las especies de *Isoetes* L. que crecen en el Cono Sur de América meridional, actualizar su diversidad, definir el área de distribución de las mismas, efectuar el análisis de la morfología general de las plantas, y en particular de sus megasporas y microsporas.


El estudio se llevó a cabo a través de observaciones con binocular estereoscópico, microscopios ópticos y electrónicos de barrido y transmisión.

Se identificaron un total de 25 especies de *Isoetes* en el Cono Sur de América del Sur: *Isoetes alcalophila*, *I. andicola*, *I. araucaniana*, *I. boliviensis*, *I. bradei*, *I. brasiliensis*, *I. chubutiana*, *I. ekmanii*, *I. escondidensis*, *I. eshbaughii*, *I. fusco-marginata*, *I. gardneriana*, *I. herzogii*, *I. hieronymii*, *I. itaboensis*, *I. lechleri*, *I. maxima*, *I. panamensis*, *I. pedersenii*, *I. ramboi*, *I. savatieri*, *I. sehnemii*, *I. smithii*, *I. spannagelli* e *I. weberi*. Se describieron especies nuevas: *I. araucaniana* (parte del complejo *I. savatieri*), *I. chubutiana* (parte del complejo *I. savatieri*) e *I. maxima* (se cita y describe por primera vez). *Isoetes pedersenii* fue válidamente publicada.

Se actualizó la distribución geográfica de los taxones, observándose que la mayor concentración y diversificación se halla en la región más septentrional que comprende el Norte de Argentina y sur de Brasil. Asimismo se identificó un grupo que crece en la región más austral conformado por *I. savatieri*, *I. araucaniana* e *I. chubutiana*.

El análisis morfológico permitió evidenciar que los caracteres vegetativos que mostraron variabilidad entre las especies son: longitud y ancho de los licofilos, presencia o ausencia de estomas, longitud y ancho del ala, morfología de la lígula, tamaño de esporangios y velo. Asimismo se pudo observar que gran parte de estos caracteres pueden variar con el grado de desarrollo de la planta y con el medio en que estas se desarrollan.

A través del estudio palinológico, se pudo evidenciar la variabilidad en la ornamentación tanto de megasporas como de microsporas. En las microsporas se reconocen tres patrones: equinado, rugulado y tuberculado. En las megasporas se reconocieron tres grupos de especies en base a la



ornamentación principal: tuberculado, rugulado y reticulado. Asimismo se describe la variabilidad de la “zona”, ornamentación de base, banda sub-ecuatorial o “girdle” y la lesura en cuanto a forma en sección, altura, margen y ornamentación.

La ornamentación de las megasporas puede relacionarse con la distribución de las especies. Así se observa que, el patrón reticulado es el más común entre las especies, en tanto que el tuberculado se circunscribe a las especies de la zona más septentrional del Sur de Brasil (Sao Paulo, Goyaz).

Los estudios con microscopía electrónica de transmisión demostraron que, tanto microsporas como megasporas poseen una ultraestructura de las paredes constante a nivel genérico. En las megasporas se diferencian tres paredes: cubierta silíceo, exosporio y endosporio. En las microsporas se identificaron cuatro paredes: perisporio, para-exosporio, exosporio y endosporio. Se reconoció un espacio en forma de media luna (“gap”) entre exosporio y para-exosporio, con ubicación distal-ecuatorial y parte del área proximal.

Se detectaron elementos constitutivos de las paredes similares en ambos tipos de esporas: elementos estructurales del para-exosporio de microsporas, y los elementos estructurales del exosporio en megasporas. Se observó variabilidad en cuanto al número de estratos del perisporio en las microsporas y en la forma de los elementos constitutivos de la cubierta externa silíceo en las megasporas.

Se puede concluir que los caracteres palinológicos relacionados a la ornamentación y morfología general de las esporas son fundamentales en la sistemática del género, y que los caracteres morfológicos pueden contribuir a los palinológicos para la identificación de algunos taxones.

Se describen las especies, se ilustra la variabilidad palinológica, se aporta una clave de identificación de las especies y mapas de distribución.

La información obtenida en este estudio sobre la morfología de las esporas y la distribución geográfica se comparó con los datos de contribuciones previas sobre megasporas fósiles rescatadas de sedimentos del Cretácico de Patagonia asignados a Isoetales. Se encontró que existe una asombrosa similitud entre las megasporas fósiles y actuales de Argentina, ellas se pueden referir a la morfología general y a la ultraestructura de la pared. Se puede además extraer interesante respecto a los fósiles respecto a su biología, ambiente y clima. La distribución geográfica de las Isoetales en el pasado y en el presente fue comparada para Argentina también

La ampliación de los estudios en especies de otras regiones de América permitirá especular sobre la historia evolutiva del grupo y su distribución actual en este continente. Se pretende continuar con estudios de ultraestructura y desarrollo de las paredes esporales con el fin de aportar más información para evaluar la significatividad de esta variabilidad estructural relacionada con la sistemática del grupo y la adaptación de las plantas a diferentes ambientes. Todos estos datos resultarán de gran valor para aportar a futuros estudios filogenéticos en Lycophyta y en particular en *Isoetes*.

# DIVERSIDAD, BIOGEOGRAFÍA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA BROMELIACEAE EN PANAMÁ Y COSTA RICA

**Daniel Adolfo Cáceres González & Georg Zizka\***

\*Universidad Johann Wolfgang Goethe, Programa de Doctorado en Ciencias Naturales de la Especialidad Biología, Frankfurt am Main, Alemania.

[consultoria.caceres@gmail.com](mailto:consultoria.caceres@gmail.com) y [georg.zizka@senckenberg.de](mailto:georg.zizka@senckenberg.de)

La familia Bromeliaceae comprende más de 3,100 especies, casi exclusivamente del Neotrópico. Conocidas por su extraordinaria versatilidad ecológica, sus miembros se han irradiado o extendido con éxito en hábitats terrestres y epífitos.

La dependencia de muchas especies al Trópico, especialmente las epífitas, a hábitats apropiados como los bosques húmedos lluviosos de tierras bajas o bosques nublados, hace de las bromelias un grupo de plantas digno para analizar la conservación potencial de Áreas Protegidas, especialmente para detectar áreas loables de conservación, pero que todavía no están protegidas. No existe una minuciosa evaluación del estado de conservación de todas las especies de bromelias de Panamá y Costa Rica, pero es necesario porque ambos países tienen una alta diversidad de hábitats.

Durante aproximadamente 8 meses de trabajo de campo se realizaron 54 excursiones en el Oeste de Panamá, se colectó el 61% (126 especies) del total de especies de bromelias conocidas para Panamá. Con 324 especímenes colectados y 858 observaciones de ocurrencia, esto representa la más grande colección de bromelias realizada en el Oeste de Panamá y una de las más importantes en el país. Con esta investigación el número de especímenes y especies de bromelias en PMA y FR, ha incrementado significativamente. Basado en un intensivo trabajo de campo y estudios de herbarios (→ 8,000 registros de distribución), se presenta información actual y analizada sobre la diversidad, la biogeografía, los patrones de diversidad y endemismo de la familia Bromeliaceae en Panamá y Costa Rica.

Sólo tres de las ocho subfamilias de Bromeliaceae, ocurren en Panamá y cuatro en Costa Rica. Veinte especies de Bromeliaceae son reportadas por primera vez para Panamá, y se informa la revisión de seis especies de bromelias de Panamá, erróneamente identificadas. La flora de bromelias de Panamá ahora comprende 16 géneros y 206 especies, y en Costa Rica 18 géneros y 199 especies; anteriormente, 43 especies fueron consideradas como endémicas en Costa Rica, y 17 especies para Panamá. Ahora hay 33 especies endémicas para Panamá y 32 para Costa Rica. 36 especies tienen una distribución restringida a ambos países.

Se creó un mapa de distribución para cada una de las especies de bromelia reportadas para Panamá y Costa Rica (259 especies); adicionalmente mapas de distribución potencial con modelados de nicho ecológico.

En la actualidad, la provincia de Chiriquí es el lugar con el más alto endemismo de bromelias en Panamá, con 14 especies de un total de 33. Seis de estas especies se encuentran restringidas a esa provincia. La gran diversidad de especies endémicas en Chiriquí, es probablemente, debido a su heterogénea topográfica y a los diversos tipos de vegetación existentes.





En Panamá y Costa Rica, la riqueza de especies de Bromeliaceae alcanza sus valores más altos en las altitudes medias, donde es posible encontrar casi 125 especies, principalmente en el Este de Costa Rica y Oeste de Panamá (Cordillera de Talamanca o Cordillera Central), y con una tendencia decreciente hacia altitudes más bajas hasta el nivel del mar. Las regiones con alta diversidad de bromelias, coinciden con las áreas donde se localiza el bosque pluvial premontano.

Las estimaciones en el número total de especies de Bromeliaceae que se predicen para Panamá, varían entre 224 y 250 especies; mientras que para Costa Rica el número de especies esperadas para el país varía entre 207 y 221 especies.

La presente investigación es una importante contribución al conocimiento de la Bromeliaceae en Panamá y Costa Rica, su diversidad, biogeografía y patrones de endemismo. También se proyecta la posibilidad de que aumente la cantidad de especies de bromelias en ambos países, cuando se intensifiquen trabajos de campo en zonas poco exploradas, principalmente en Panamá; de igual forma se ha logrado un incremento significativo en el número de especímenes y especies de bromelias colectadas en Panamá para los Herbarios PMA y FR.

El proceso de desarrollo económico que ha experimentado Panamá y otros países de la región, en la última década, claramente produce una presión directa e indirecta hacia las Áreas Protegidas y no Protegidas. El mayor riesgo es que regiones con alta diversidad, todavía no forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, y en algunos casos podrían ser afectadas fuertemente en el futuro, por el impacto humano.

# ASPECTOS ETNOBOTÁNICOS Y ECONÓMICOS DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *DIOSCOREA* RECOLECTADAS EN CUNDINAMARCA (COLOMBIA)

**Darío Pérez & Lauren Raz\***

\*Universidad Nacional de Colombia, Maestría en Geografía, Bogotá D.C., Colombia.

[daaperezgo@unal.edu.co](mailto:daaperezgo@unal.edu.co) y [lraz@unal.edu.co](mailto:lraz@unal.edu.co)

La recolección y consumo de los productos vegetales derivados de los bosques tropicales es una actividad que ha sido desarrollada durante miles de años, asegurando la supervivencia de las comunidades adyacentes. Cerca del 80% de la población del mundo en desarrollo ha usado dichos productos vegetales y, especialmente, productos forestales no maderables (PFNM) para la auto-subsistencia, como alimento y medicina, y/o para obtener ingresos.


Los PFNM se han constituido en objeto de interés a nivel mundial, desde finales de la década de los ochenta y hasta nuestros días, debido, entre otras razones, a la preocupación respecto a problemáticas ambientales, como la deforestación, y a la búsqueda de actividades productivas para la erradicación de la pobreza, que redunden en el bienestar de las comunidades y aseguren la conservación de la diversidad biológica y cultural.

En Colombia, pese a la reconocida importancia de los PFNM como estrategia para el mejoramiento de la calidad de vida de comunidades humanas, se han hecho pocos esfuerzos para estudiar y documentar el uso y la gestión de estos bienes; además, existe un desconocimiento de los criterios mínimos para su valoración, aprovechamiento y manejo sostenible y, sobretodo, sustentable.

La demanda y el consumo de diversos productos del bosque nativo colombiano vienen provocando su agotamiento a un ritmo alarmante, siendo una de las causas subyacentes de la pérdida de biodiversidad. La sobreexplotación, en función de la demanda actual, es un rasgo notorio en algunas de las plantas nativas que cuentan con características económicamente aprovechables, como las plantas medicinales. Considerando los beneficios, existe un alto grado de desconocimiento de las plantas medicinales nativas que va desde su biogeografía hasta las prácticas culturales que se efectúan alrededor de la extracción y, posterior, comercialización de estas plantas.

La “zarzaparrilla” (nombre común de las especies del género *Dioscorea* usadas tradicionalmente como medicina) es una planta medicinal nativa colombiana, con un amplio rango de distribución y tradicionalmente usada para problemas hemáticos, su venta constituye un ingreso para varias familias campesinas cundinamarquesas.

Ésta planta se recolecta directamente del medio nativo pero, como no se cultiva, los campesinos han evidenciado una franca disminución de su presencia en los lugares de recolecta y, considerando que la rotación en el mercado en los últimos años ha crecido, existe un posible riesgo de sobreexplotación ya que la tasa de regeneración natural es inferior a la tasa de extracción.



La investigación, a través de métodos de investigación cualitativa, identificó los actores y las prácticas culturales detrás de la ruta de recolección y comercialización de la “zarzaparrilla” en Cundinamarca. Se documentaron y cartografiaron los datos sobre las comunidades humanas asociadas a la recolección y las rutas de transporte, comercialización y consumo de la planta.

Se describió la cadena de suministro de las plantas recolectadas, identificando los eslabones, sus redes y sus flujos, desde los lugares de recolecta y hasta su disposición final al consumidor. Los resultados de la cartografía demuestran una amplia distribución y un crecimiento del mercado.

Adicionalmente, los resultados sugieren que existe un desconocimiento del estado actual de conservación biológica y de las potencialidades que tiene la planta en el mercado y, teniendo en cuenta que la industria farmacéutica viene incrementando la oferta del producto transformado, se está poniendo en riesgo la conservación de la especie.

El estudio documenta algunos saberes y prácticas tradicionales campesinas y actualiza el conocimiento sobre la flora medicinal colombiana y, específicamente, sobre las especies del género *Dioscorea* en Cundinamarca, dentro de un marco de conservación, uso y aprovechamiento sostenible, que derive en la exploración de un mercado potencial, que favorece el desarrollo socioeconómico de las comunidades asociadas, la valoración del conocimiento tradicional y la protección de la especie.

# ANALISE DO POTENCIAL PRODUTIVO DE OURICURI [*SYAGRUS CORONATA* (MARTIUS) BECCARI] NO SEMIARIDO ALAGOANO

**Edmilson Genuíno Santos Junior & Flávia de Barros Prado Moura\***


\*Universidade do Estado da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia Humana e Gestão Socioambiental (Mestrado), Paulo Afonso, Brasil.

[junior.cavalcante1@hotmail.com](mailto:junior.cavalcante1@hotmail.com) e [biodiversidade.ufal@gmail.com](mailto:biodiversidade.ufal@gmail.com)

O bioma caatinga é um dos mais explorados do mundo. Seus recursos vegetais não são tão variados como nos biomas cerrados e mata atlântica, sem falar que por haver uma grande densidade populacional na região, os recursos naturais sofrem com uma demasiada exploração, seja do solo, da fauna e ou da flora. Na intenção de contribuir para um uso sustentável desses recursos, idealizou-se esse estudo que teve como protagonista a palmeira ouricuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari). Palmeira esta que possui uma grande densidade populacional no bioma caatinga e apresenta várias opções de usos, entre elas, as folhas para alimentação animal e produção de artesanato (abanos, vassouras, telhados...), frutos para consumo in natura (alimentação humana e animal) e alimentos processados (leite de coco, pratos típicos, doces, sucos, óleos, sorvete...). Além de ser considerada uma planta “enfermeira”, abrigando em seu corpo vários tipos de animais, fungos e plantas, além de líquens. Nesse contexto contribui para manutenção da biodiversidade local, ainda mais por proporcionar uma fertilização do solo em seu entorno.

Pelo período de 12 (doze) meses consecutivos observou-se o ciclo de produção da palmeira no que diz respeito ao número de folhas jovens, número de folhas maduras, número de inflorescências fechadas, número de inflorescências abertas, número de cachos verdes, número de cachos maduros, número de frutos maduros produzidos por cacho, tamanho individual de cada fruto, bem como o peso individual de cada fruto na proporção amostral de 30 frutos maduros para cada cacho, sendo selecionados aleatoriamente para análise biométrica, utilizando-se a balança de precisão e o paquímetro manual. A seleção dos indivíduos que foram acompanhados se deu com ajuda do proprietário que informou que na área próximo a sede da propriedade havia retirado folhas das palmeiras nos períodos de estiagem (últimas vezes no mês de janeiro de 2010 e 2011) e que não havia retirado folhas da área mais distante da sede por mais de dois anos o que pôde ser observado pela quantidade de folhas maduras e secas da área que relatou não haver corte em relação a que houve corte. Diante disto foram realizadas marcações individuais em cada palmeira aleatoriamente, distinguindo as manejadas das não manejadas.

Dentre a população de ouricuri, foram marcados 60 indivíduos, sendo 30 que sofrem manejo e outros 30 que estão sem sofrer algum tipo de manejo por mais de 02 anos, denominado grupo controle, para uma pesquisa ação, através de método quantitativo, para analisar o potencial produtivo da palmeira ouricuri. Além do registro do quantitativo mensal de folhas, inflorescências e cachos de frutos verdes e maduros, foi realizado acompanhamento do tempo médio de surgimento de novas folhas. Para isto, selecionou-se 10 indivíduos aleatoriamente, sendo 05 (cinco) do grupo dos manejados e mais 05 do grupo controle, com folhas jovens menores que 1 m.



Nas análises levando-se em consideração indivíduos manejados e não manejados (n=60) observou-se uma queda na produção de folhas e frutos em indivíduos manejados. Entretanto, houve um aumento significativo de produção de folhas em indivíduos manejados nos seis meses após o corte, sugerindo que o corte provocou um estímulo para a produção de folhas. Nos seis meses seguintes, entretanto, ocorreu uma redução na produtividade de frutos no grupo manejado, provavelmente em função da necessidade de alocar recursos para a reprodução. Observando-se a média de produção de folhas em palmeiras não manejadas verificamos que não houve diferença significativa ( $p=0,30$ ) de médias entre os períodos de agosto a janeiro e de fevereiro a julho fato que não ocorreu nas palmeiras manejadas, as quais apresentaram diferentes médias de produção de folhas nos seis meses que antecederam o segundo corte de folhas e nos seis meses posteriores. O fato de a média anual de produção de folhas do grupo controle (8,06 folhas por palmeira) ser maior que do manejados (6,63 folhas por palmeira) se deve a queda na produção de folhas no período de agosto a janeiro, a partir do sétimo mês após o corte de folhas. Em relação ao número de frutos, tanto palmeiras manejadas quanto não manejadas frutificaram no período de novembro a maio, com pico de frutificação em fevereiro mesmo para as palmeiras manejadas, as quais tiveram a maior parte de suas folhas cortadas em janeiro de 2012.

A produção de frutos foi considerada elevada e sazonal, tendo sido registrada exclusivamente de novembro a maio, com pico de frutificação no mês de fevereiro. O ouricuri produz folhas durante todo o ano, mas a produção anual na área estudada foi abaixo do esperado, podendo ser justificado pela escassez de chuvas no período, limitando dessa forma o extrativismo. Cada palmeira produziu em média 35,83kg de fruto durante os 12 meses; o número de cachos por palmeira produzidos no ano variou de zero a 3. A maior quantidade de frutos em coqueiros não manejados, comprova a hipótese inicial de que o corte das folhas afeta o investimento reprodutivo. Esse resultado é preocupante uma vez que muitas populações tradicionais utilizam intensivamente as folhas das palmeiras para os mais variados fins. É necessário um plano de extrativismo, como também, políticas públicas voltadas para investimentos para que aconteça o extrativismo da palmeira ouricuri e que este seja realizado de forma a não superexplorar ou explorar de forma ineficiente.

# QUAL A INFLUÊNCIA DO PULSO DE INUNDAÇÃO E SEUS PREDITORES LIMNOLÓGICOS SOBRE A RIQUEZA, FLORA E BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DE RESERVATÓRIO TROPICAIS?

**Edson Gomes de Moura-Júnior<sup>1</sup>, William Severi<sup>2</sup>  
& Carmen Silvia Zickel<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Botânica (Mestrado), Recife, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Pesca e Aquicultura, Recife, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Botânica, Recife, Brasil.

[jrbio10@hotmail.com](mailto:jrbio10@hotmail.com)


Nossa compreensão atual sobre a ecologia de espécies de plantas aquáticas ainda não nos permite descrever seus padrões de riqueza, florística e biomassa em ecossistemas sob forte influência de flutuações do nível da água, assim como nos impede de reconhecer os preditores ambientais (sobretudo limnológicos) para esses padrões.

Nesse contexto, este estudo teve por objetivo descrever a dinâmica quali-quantitativa de plantas aquáticas e sua relação com variáveis limnológicas durante uma inundação ocorrida em junho de 2010, em dois reservatórios tropicais (Tapacurá e Cursai - PE).

Em cada reservatório, foram realizadas quatro coletas no período pré-inundação (maio/2008 a dezembro/2009) e quatro pós-inundação (agosto/2010 a julho/2011). Foram analisadas as variáveis limnológicas pH, transparência, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade, nitrato, nitrito, ortofosfato e fósforo total dissolvido, seguindo métodos específicos. Para amostragem das macrófitas, utilizaram-se parcelas permanentes de 50 x 4 m (riqueza/composição) e quadrados amostrais de 25 x 25 cm (biomassa).

Estimativa de riqueza (CHA0 1), Análise Multidimensional não Métrica (MDS) e teste t foram utilizados para avaliar, respectivamente, diferenças na riqueza, florística e biomassa das hidrófitas após a inundação. O teste de regressão linear múltipla com correlação parcial a *posteriori* (RLM) foi empregado para identificar as variáveis limnológicas preditoras dos padrões de riqueza e florística pós-inundação, enquanto que a Análise de Correspondência Canônica (CCA) e o Fator de Inflação (FI) foram utilizados para identificação das variáveis preditoras para a biomassa pós-inundação.

A não sobreposição dos intervalos de confiança para a riqueza estimada (máxima, média e mínima) evidenciou diferenças quanto ao número de espécies dos períodos pré e pós-inundação, sendo a riqueza mais elevada após a inundação nos dois reservatórios. A partir dos scores da MDS verificou-se mudanças na composição de espécies pós-inundação para Cursai ( $p < 0,001$  /  $t = 52,67$ ) e Tapacurá ( $p = 0,0115$  /  $t = 4,30$ ). Constataram-se, ainda, reduções significativas na biomassa total de macrófitas aquáticas de Cursai ( $p < 0,05$ ,  $t = 12,48$ ) e Tapacurá ( $p < 0,05$ ,  $t = 16,01$ ) após a inundação.



As espécies oportunistas *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Paspalidium geminatum* (Forssk.) Stapf e *Salvinia auriculata* Aubl. foram abundantes na biomassa total do período pré-inundação (com mais de 120 gPS/m<sup>2</sup> cada), porém reduziram em mais de 50% sua biomassa após a inundação em Cursai e Tapacurá. Em contrapartida, espécies menos competitivas, como *Ludwigia helminthorriza* (Mart.) H. Hara (Cursai) e *Polygonum ferrugineum* Wedd. (Tapacurá) aumentaram sua biomassa em mais de 100% após a inundação. A RLM constatou que apenas oxigênio dissolvido e transparência puderam explicar ( $p < 0,05$  /  $r^2 = 39,82$ ) a variação na riqueza e florística após o pulso de inundação, apenas para Cursai. As análises CCA e FI evidenciaram que a biomassa das hidrófitas oportunistas se correlacionou positivamente com nitrato ( $p < 0,005$  /  $t = 18,43$ ) e fósforo total ( $p < 0,0001$  /  $t = 38,05$ ) e negativamente ( $p < 0,0001$  /  $t = 12,02$ ) com oxigênio dissolvido.

Tais resultados sugerem que variáveis limnológicas são pouco (Cursai) ou nada explicativas (Tapacurá) para a variação da riqueza e florística após pulsos de inundação em reservatórios tropicais, embora possam influenciar significativamente na competição interespecífica e, consequentemente, na biomassa desses organismos.

# ESTUDIOS DE LA MORFO-ANATOMÍA, LA ESPOROGÉNESIS Y GAMETOGÉNESIS EN FLORES DE ESPECIES SELECTAS DE MALVACEAE-GREWIOIDEAE

**Elsa Clorinda Lattar, María Silvia Ferrucci & Beatriz Gloria Galati\***

\*Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales,  
Doctorado en Ciencias Biológicas, Córdoba, Argentina.

[elsilattar@gmail.com](mailto:elsilattar@gmail.com) y [galati@agro.uba.ar](mailto:galati@agro.uba.ar)

**M**alvaceae Juss. es una familia cosmopolita con 243 géneros y 4300 especies. Estudios recientes, basados en datos morfológicos, moleculares y biogeográficos delimitaron en Malvaceae nueve subfamilias, entre ellas Grewioideae Dippel. Ésta es considerada como una subfamilia basal y monofilética, junto al grupo hermano Byttnerioideae, que incluye gran parte de los géneros que se encontraban en Sterculiaceae.

Grewioideae comprende 25 géneros y 700 especies, que se encuentran distribuidas en las regiones tropicales del Nuevo Mundo y Viejo Mundo. Recientemente, basados en datos moleculares y morfológicos han propuesto dentro de Grewioideae una nueva subdivisión en dos tribus, Apeibae y Grewieae. La tribu Apeibae comprende 7 géneros, entre los cuales se encuentran *Corchorus* L., *Heliocarpus* L. y *Triumfetta* L. mientras que *Luehea* Willd. está incluida en la tribu Grewieae con 17 géneros.

La subfamilia Grewioideae se caracteriza por poseer nectarios en la base de los pétalos o sobre un androginóforo y numerosos estambres libres, a diferencia de Byttnerioideae, que se caracteriza por la presencia de estaminodios que aparecen exclusivamente en la periferia del androceo fértil. En este trabajo, se estudió la anatomía de los nectarios florales, la esporogénesis y gametogénesis en seis especies pertenecientes a Grewioideae: *Corchorus argutus* Kunth, *C. hirtus* L., *Heliocarpus payanensis* Kunth, *Luehea candicans* Mart., *L. divaricata* Mart. y *Triumfetta semitriloba* Jacq.


Se realizaron viajes de colección a las provincias de Corrientes y Misiones (Argentina) en el periodo 2009-2013. Se utilizaron botones florales en distintos estadios de desarrollo, flores en antesis y post-antesis, todos ellos fijados en FAA (formol-alcohol-ácido acético) y posteriormente deshidratados e incluidos en parafina. Los cortes seriados transversales y longitudinales se efectuaron con micrótopo rotativo en espesores de 10-12  $\mu\text{m}$ , los mismos se tiñeron con safranina-Astra Blue. Los preparados fueron montados en Bálsamo de Canadá sintético.

Las observaciones, interpretaciones y fotomicrografías se efectuaron con microscopio óptico (MO) microscopio electrónico de barrido (MEB) y microscopio electrónico de transmisión (MET).

Los caracteres del nectario, tales como ubicación, número y contorno de glándulas nectaríferas, longitud y ancho de tricomas secretores y tipo de vascularización, son de valor diagnóstico a nivel de tribu.

Los estudios embriológicos revelaron que el desarrollo de la pared de la antera corresponde al tipo básico, la desintegración de la pared primaria de las células del tejido esporógeno es tardía en





*Luehea*, mientras que en los demás géneros se desintegra durante la meiosis. El tapete es de tipo secretor. *Heliocarpus* y *Triumfetta* presentan células tapetales uninucleadas, *Corchorus* binucleadas y *Luehea* plurinucleadas. El desarrollo de los engrosamientos fibrilares del endotecio en *Corchorus*, *Heliocarpus* y *Triumfetta* ocurre en el estadio de micrósporas libres, mientras que en *Luehea* los engrosamientos se encuentran totalmente desarrollados en el estadio de polen maduro.

Los estudios ultraestructurales en *L. divaricata* revelaron que el tapete secretor y persistente adquiere características ultraestructurales propias de células de transferencia. Este carácter sería adaptativo para esta especie, y favorecería la alta producción de granos de polen. Dentro de los aspectos filogenéticos, las células tapetales multinucleadas se interpretan como el estado apomórfico del carácter dentro de Grewioideae. La presencia de orbículas es reportada por primera vez para la subfamilia. La variación del tamaño de las orbículas tendría relación con el tamaño de las anteras en las distintas especies analizadas. La ausencia de orbículas en el género *Corchorus*, se interpretaría como el estado apomórfico del carácter.

La ontogenia del megagametófito en *Corchorus*, *Luehea* y *Triumfetta* corresponde al tipo *Polygonum*, mientras que las flores perfectas de *Heliocarpus* presentan el tipo *Allium*. Las flores pistiladas de este último género producen varios sacos embrionarios incompletos por óvulo y desarrollan semillas apomícticas. La presencia de apomixis, reportada por primera vez en la subfamilia, se podría interpretar como una ventaja adaptativa en la especie *H. popayanensis*.

Este estudio constituye un aporte original a la caracterización embriológica de las especies analizadas, reportándose estos resultados por primera vez a nivel genérico y de subfamilia.

# EUPHORBIACEAE NA SERRA GERAL DE LICÍNIO DE ALMEIDA, BAHIA, BRASIL

**Fernanda Hurbath Pita Brandão, Daniela Santos  
Carneiro Torres & Nádia Roque\***

\*Universidade do Estado da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal  
(Mestrado), Paulo Afonso, Brasil.

[fhurbath@gmail.com](mailto:fhurbath@gmail.com) e [nadiaroque@gmail.com](mailto:nadiaroque@gmail.com)

Euphorbiaceae possui significativa representatividade no semiárido nordestino, considerada uma família típica da Caatinga. Atualmente já se encontram na Lista de Espécies da Flora do Brasil 339 espécies e 45 gêneros para o nordeste, sendo 112 espécies endêmicas da região.

A Serra Geral de Licínio de Almeida (SGLA) localiza-se em um trecho central da Cadeia do Espinhaço e ocupa uma faixa longa e estreita a oeste do município de Licínio de Almeida, cuja área aproximada é de 24.000 ha (14°25'–14°50'S / 42°35'–42°30'W). O município está localizado no bioma Caatinga *sensu* IBGE, porém com presença marcante do Cerrado, florestas semidecíduas, campos rupestres, matas ciliares e de grotão. Apresenta clima semiárido com temperatura média anual de 21°C e pluviosidade anual variando entre 500 a 1000 mm. Apresenta em seu território a nascente do Rio do Antônio, mesmo afluente do Rio de Contas, e de importância regional.

Práticas de queimadas, extrativismo mineral e assoreamento de nascentes ameaçam a paisagem natural da Serra Geral de Licínio de Almeida, sendo uma região considerada prioritária para conservação, e com flora praticamente desconhecida, o objetivo do presente estudo foi realizar um inventário e tratamento taxonômico das espécies de Euphorbiaceae para a SGLA.

Foram realizadas 10 viagens ao campo entre os meses de julho de 2011 e novembro de 2013, e visitas à coleção dos herbários ALCB, CEPEC, CENARGEN, HUEFS, MBM, SP, SPF, RB e UB. Materiais coletados foram depositados no ALCB, com duplicatas enviadas para HUNEB, HUEFS e SP. O tratamento taxonômico inclui descrição (família, gêneros e espécies), chave de identificação (gêneros e espécies), distribuição geográfica, comentários e ilustrações.

Euphorbiaceae está representada na SGLA por 46 espécies distribuídas em 14 gêneros. Mais de 50% das espécies foram coletadas em fitofisionomias de cerrado e campos rupestres. *Croton* apresentou maior riqueza (21 spp), seguido de *Euphorbia* (5 spp.) e *Microstachys* (4 spp.). *Cnidocolus*, *Dalechampia*, *Manihot*, *Sebastiania* e *Stillingia* apresentaram duas espécies cada, e *Acalypha*, *Alchornea*, *Astraea*, *Maprounea* e *Tragia* com uma espécie cada.

Os gêneros com maior complexidade na delimitação das espécies foram *Croton* e *Microstachys*. As espécies de *Croton* diferenciam-se pelo tipo de indumento, presença ou ausência de glândulas nas estípulas, brácteas e ápice do pecíolo, e características das flores pistiladas, enquanto que as de *Microstachys* apresentaram sobreposição de caracteres considerados diagnósticos, como forma e margem do limbo, tipo de indumento e características do fruto.

Das espécies identificadas, 26 são consideradas endêmicas do país, sendo quatro restritas à Bahia (*Croton imbricatus* L.R. de Lima & Pirani, *Microstachys uleana* (Pax & K.Hoffm.) Esser, *Sebastiania catingae* Ule e *Stillingia uleana* Pax. & K.Hoffm.), e cinco representam novas ocorrências para

o estado (*Acalypha multicaulis* Müll.Arg., *Euphorbia attastoma* Rizzini, *E. setosa* (Boiss.) Müll.Arg., *Microstachys glandulosa* (Mart. & Zucc.) Esser & M.J. Silva e *M. serrulata* (Mart. & Zucc.) Müll.Arg).

Entre as novidades para a ciência, foi coletada uma espécie nova de *Gymnanthes* em floresta estacional semidecidual, entre 880-930 m altitude. Foram observados caracteres morfológicos peculiares como ciátios com flor feminina atrofiada ou vestigial em *Euphorbia sarcodes* Boiss; flores pistiladas com pétalas em *Croton jacobinensis* Baill., e *C. glandulosobracteatus* Carn.-Torres & Cordeiro com glândulas na base do limbo. Novos caracteres ou táxons foram ilustrados, por exemplo, as sépalas das flores pistiladas de *Stillingia uleana* que também foram descritas pela primeira vez.

Houve apenas uma espécie com identificação imprecisa. *Manihot* aff. *sparsifolia* Pohl difere de *M. sparsifolia* por apresentar folhas peltadas (vs. folhas não peltadas), inflorescências curtas, menor que 4,0 cm (vs. inflorescências com cerca de 15 cm), flores estaminadas com sépalas unidas até a metade e femininas com 1/3 de união (vs. flores estaminadas unidas 1/3 e femininas partidas até a base), e formato do limbo sagitado (vs. formato do limbo hastado). *Manihot* é um gênero complexo devido à sua origem recente e grande variedade morfológica dentro de uma mesma espécie, somente estudos revisivos do gênero poderão auxiliar na compreensão e reconhecimento dos táxons.

Dados de herbários e a descoberta de uma nova espécie de *Gymnanthes* confirmam que a área possui flora pouco conhecida, potencialmente diversa, onde as espécies presentes podem apresentar características peculiares. Esses dados indicam que o aumento no esforço de coleta é fundamental para que levantamentos florísticos e trabalhos taxonômicos representem satisfatoriamente a diversidade da flora brasileira. (FAPESB – BOL0238/2012 e PRONEM T.O. PNE 0020/2011)

# CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS DE TRÊS ESPÉCIES NEOTROPICAIS DE PODOSTEMACEAE E SUAS IMPLICAÇÕES FILOGENÉTICAS

**Inara Carolina da Silva, Cristiana Koschnitzke & Claudia Petean Bove\***

\*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Botânica (Mestrado), Rio de Janeiro, Brasil.


[inaracarolina@hotmail.com](mailto:inaracarolina@hotmail.com) e [cpbove@hotmail.com](mailto:cpbove@hotmail.com)

**P**odostemaceae são ervas aquáticas que habitam rios com corredeiras e cachoeiras. A família pertence à Malpighiales e compreende três subfamílias: *Tristichoideae*, a mais basal dentro da família, é grupo irmão do clado formado por *Weddellinoideae* e *Podostemoideae*. Análises filogenéticas mostram que *Podostemoideae* apresenta linhagens diferentes de acordo com a região geográfica formando dois grandes clados, o paleotropical e neotropical. Apesar da alta diversidade, os aspectos reprodutivos são pouco conhecidos, assim como o sinal filogenético destes dados. O objetivo deste trabalho foi estudar a biologia reprodutiva de espécies filogeneticamente distantes: *Lophogyne lacunosa* (Gardner) C. P. Bove & C. T. Philbrick, *Podostemum weddellianum* (Tul.) C. T. Philbrick & Novelo (*Podostemoideae*) e *Tristicha trifaria* Bory ex Willd.) Spreng. (*Tristichoideae*) e avaliar se caracteres reprodutivos são informativos em estudos filogenéticos em Podostemaceae.

O estudo foi realizado em 2012 e 2013 nos municípios de Macaé e Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil. Foram levantados 39 caracteres relacionados com a morfologia floral, biologia reprodutiva e polinização. Foi elaborada uma matriz de caracteres de 16 espécies com dados obtidos neste estudo e de bibliografia. Os estados de caracteres foram otimizados num cladograma simplificado a partir das hipóteses filogenéticas publicadas, no programa Mesquite 2.7, utilizando o método de parcimônia.

As espécies aqui estudadas apresentam flores solitárias, zigomorfas e pediceladas, sem odor perceptível ao olfato humano, antese de cinco a seis dias; estão adaptadas à autopolinização e a deiscência dos frutos ocorre aproximadamente um mês depois do final da antese. A floração e frutificação em *Lophogyne lacunosa* e *Podostemum weddellianum* é anual. A flor de *Lophogyne lacunosa* apresenta protoginia incompleta e polinizada pelo vento. Foi observado *Syllimnophora* (Diptera - Muscidae) andando sobre flores de *Podostemum weddellianum*. *Tristicha trifaria* apresenta protoginia incompleta. A autopolinização em *Podostemum weddellianum* ocorre no botão e em *Lophogyne lacunosa* e *Tristicha trifaria* nos primeiros estádios da antese. Em *Lophogyne lacunosa* foi evidenciado sistema reprodutivo misto e apomixia. A apomixia era desconhecida para a família Podostemaceae, sendo aqui relatada de forma inédita. Cabe a investigação de outras espécies, para averiguar se este caráter é uma sinapomorfia do clado ou uma autapomorfia do gênero.

No caráter dicogamia, o estado protoginia é plesiomórfico e protandria é uma autapomorfia de *Weddellinoideae*. A ausência da dicogamia pode ser uma sinapomorfia do clado paleotropical de *Podostemoideae*. As flores odoríferas surgem em *Weddellinoideae* e depois em duas espécies filogeneticamente distante de *Podostemoideae*. A polinização pelo vento surge como uma provável sina-



pomorfia do clado neotropical de *Podostemoideae*. A presença da autopolinização e autopolinização nos primeiros estádios da antese são estados plesiomórficos. Os caracteres polinização por abelhas e por moscas podem ser fontes informativas para a filogenia. A partenocarpia pode ser uma sinapomorfia de *Podostemoideae*.

Os dados obtidos da biologia reprodutiva e polinização se mostraram promissores para utilização em estudos filogenéticos. Neste primeiro esboço foi possível estabelecer estados plesiomórficos e sinapomorfias para alguns clados, no entanto é preciso investigar um número maior de espécies da família para saber quais táxons e quais caracteres surtirão melhores resultados na busca de (sin) apomorfias para as Podostemaceae. (CNPq & CAPES)

# ANNONACEAE DA RESERVA NATURAL VALE, LINHARES, ESPÍRITO SANTO

**Jenifer de Carvalho Lopes & Renato de Mello-Silva\***

\*Universidade de São Paulo, Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas  
- Botânica (Mestrado), São Paulo, Brasil.

[jenifer.clopes@gmail.com](mailto:jenifer.clopes@gmail.com) e [mellosil@usp.br](mailto:mellosil@usp.br)

As Annonaceae da Reserva Natural Vale, localizada em Linhares, Espírito Santo, estão distribuídas em 11 gêneros e 27 espécies, das quais duas são novas. O gênero com mais espécies é *Annona*, com cinco, seguido por *Guatteria*, com quatro. *Duguetia*, *Honschuchia*, *Oxandra* e *Xylopia* têm três espécies cada e *Unonopsis*, duas espécies. *Anaxagorea*, *Cymbopetalum*, *Ephedranthus* e *Pseudoxandra* são representados por apenas uma espécie cada. 18 espécies são endêmicas da Mata Atlântica, das quais quatro são endêmicas da Reserva. Duas espécies novas são descritas: *Ephedranthus dimerus* e *Oxandra unibracteata*. *Ephedranthus dimerus* ocorre na Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais. É a única espécie de *Ephedranthus* da Mata Atlântica e também a única espécie dímera do gênero. É similar a *E. guianensis*, com a qual compartilha a base da folha cuneada a aguda. Diferem pelo número de carpídios do fruto e pelo comprimento dos estipes. *Oxandra unibracteata* é endêmica da Reserva Natural Vale, onde ocorre na floresta de tabuleiro. É a única espécie de *Oxandra* com uma só bráctea no pedicelo. É similar a *O. reticulata*, com a qual compartilha a folha reticulada, mas difere pelo formato da folha e comprimento do pedicelo, além do número de brácteas. É proposta a sinonimização de *Oxandra opaca* em *O. nitida*. Flores masculinas de *Pseudoxandra spiritus-sancti* são descritas pela primeira vez e constituem o primeiro relato de androdioiccia no gênero.

# A VEGETAÇÃO LENHOSA SOBRE SOLOS QUARTZÍTICOS NA SERRA NEGRA (RIO PRETO, MG): ESTRUTURA, DIVERSIDADE E GRADIENTES AMBIENTAIS

**José Hugo Campos Ribeiro & Fabrício Alvim Carvalho\***


\*Universidade Federal de Juiz de Fora, Pós-Graduação em Ecologia (Mestrado), Juiz de Fora, Brasil.  
[jhugocampos@gmail.com](mailto:jhugocampos@gmail.com) e [fabricaoalvim@gmail.com](mailto:fabricaoalvim@gmail.com)

As montanhas em regiões tropicais apresentam uma grande diversidade biológica, relacionada a uma alta heterogeneidade de ambientes. Podem ser encontradas formações florestais, arbustivas, campos nativos, brejos, etc. A Serra Negra é um componente da Serra da Mantiqueira em Minas Gerais, Brasil. Apresenta mosaico vegetacional onde predominam florestas ombrófilas e campos rupestres, com fisionomias arbustivo-arbóreas ocorrendo como manchas sobre solos quartzíticos. O presente estudo teve o objetivo de investigar os padrões de estrutura e diversidade da vegetação lenhosa sobre solo quartzítico, uma fisionomia vegetal pouco conhecida, e sua relação com as variáveis ambientais e édáficas.

Para o estudo, dez parcelas (20m X 50m) foram alocadas aleatoriamente em manchas dessa vegetação ao longo da paisagem, totalizando um hectare de amostra. Foram medidos todos os indivíduos com diâmetro do caule  $\geq 3$  cm a uma altura de 30 cm do solo (diâmetro a altura da base, DAB). A altura desses indivíduos foi estimada por comparação com uma vara graduada. Para medir o diâmetro dos caules (DAB) utilizou-se um paquímetro digital. Foi feita a coleta de material botânico para a identificação até o nível de espécie. A identificação do material botânico foi feita por consulta a literatura especializada, consulta a especialistas e comparação com o material depositado no herbário Leopoldo Krieger (CESJ) da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Para a análise das variáveis édáficas, foram coletadas amostras de solo superficial (20 cm de profundidade) em cada parcela. A altitude do centro de cada parcela foi aferida com ajuda de um barômetro digital. Também foram aferidas as altitudes de cada vértice das parcelas, para a estimativa da declividade. A cobertura do solo foi avaliada e dividida em três categorias: rochas afloradas; solo exposto (areia quartzosa) desprovido de vegetação e solo coberto por vegetação. A contribuição de cada categoria foi avaliada visualmente para cada parcela e expressa em porcentagens.

Para estimar a diversidade de espécies foi utilizado o índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) na base logarítmica natural ( $e$ ). O índice de equabilidade de Pielou ( $J$ ), baseado em  $H'$ , foi utilizado para a estimativa da uniformidade na comunidade. Para a análise da estrutura foram avaliados os seguintes parâmetros fitossociológicos das espécies: frequência, dominância, densidade e valor de importância – VI. Foram considerados perfilhados todos os indivíduos que possuíam ramificação acima do nível do solo e abaixo de 30 cm. As relações entre as abundâncias das espécies e as variáveis ambientais foram investigadas através de uma análise de correspondência canônica (CCA). Apenas as espécies com mais de 10 indivíduos na amostra foram consideradas para elaboração da matriz de espécies para a CCA.



Foram amostrados 1899 indivíduos, distribuídos em 30 famílias e 68 espécies. A família com maior número de espécies foi Myrtaceae (16 espécies), seguida de Asteraceae e Melastomataceae (5 espécies cada). O índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) encontrado foi de 2,74 nats/indivíduo e a equabilidade (J) foi de 0.65. De maneira geral, a vegetação lenhosa sobre solos quartzíticos na Serra Negra tende a se aproximar de outras formações da flora lenhosa na região.

Dois espécies sozinhas, *Eremanthus incanus* (Less.) Less. e *E. erythropappus* (DC.) MacLeish (Asteraceae), são responsáveis por cerca de 33% do VI, 50% da dominância e 40% da densidade da comunidade. A ocorrência de dominância é comum nas comunidades vegetais em habitats com condições ambientais mais severas na Mata Atlântica. Nesses ambientes, essas espécies localmente abundantes geralmente apresentam importante papel no funcionamento e manutenção das comunidades.

Nessa comunidade, o perfilhamento é um processo importante, influenciando em sua estrutura. Cerca de 28% dos indivíduos amostrados estavam perfilhados a 30 cm do solo e 48.5% das espécies apresentaram pelo menos um indivíduo perfilhado. A vegetação é caracterizada por espécies de pequeno porte, com muitos indivíduos perfilhados e distribuídos de forma esparsa o que justificaria a denominação dessa vegetação como um arbustal latifoliado. No entanto, seguindo o conceito de complexos rupestres de altitude, podemos inserir essa vegetação como uma faceta dos campos rupestres presentes na área de estudo.

A análise de correspondência canônica (CCA) mostrou que as variáveis altitude e cobertura por solo exposto foram as mais correlacionadas com a estrutura da vegetação. A porcentagem de argila na composição do solo também foi importante e mesmo pequenas variações refletem na estrutura da comunidade. A ocorrência de algumas espécies tipicamente florestais foi correlacionada a um leve aumento no teor de argila no solo. Em conjunto, as variáveis ambientais utilizadas foram capazes de explicar as variações nas abundâncias das espécies, mostrando a existência de um gradiente ambiental relativamente forte.

(Apoio: FAPEMIG; CNPq).



# REVISÃO DE *BRADDEA* (STANDL.): UM GÊNERO NEGLIGENCIADO DOS AFLORAMENTOS ROCHOSOS DA FLORESTA ATLÂNTICA, BRASIL

**Juliana Amaral de Oliveira, Jomar Gomes Jardim  
& Rafaela Campostrini Forzza\***

\*Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Escola Nacional de Botânica Tropical,  
Programa de Pós-graduação em Botânica (Mestrado), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

[jujumaral@yahoo.com.br](mailto:jujumaral@yahoo.com.br) e [rafaela@jbrj.gov.br](mailto:rafaela@jbrj.gov.br)

A tribo Coussareeae, da subfamília Rubioideae, é composta por 10 gêneros exclusivamente neotropicais: *Bradea* Standl., *Coccocypselum* P.Browne, *Coussarea* Aubl., *Cruckshanksia* Hook. & Arn., *Declieuxia* Kunth, *Faramea* Aubl., *Heterophyllaea* Hook.f., *Hindsia* Benth. ex Lindl., *Oreopolus* Schlttdl. e *Standleya* Brade. A tribo é monofilética e com alto suporte em diversos estudos filogenéticos, que também apontam a baixa resolução de seus clados internamente. A tribo foi descrita incluindo apenas *Faramea* e *Coussarea* e permaneceu com esta circunscrição por mais de um século, sendo alterada somente após o advento de estudos filogenéticos moleculares. *Bradea* é o único gênero de Coussareeae que nunca foi incluído em qualquer hipótese filogenética, sendo posicionado na tribo apenas por semelhanças morfológicas.

Coussareeae vem recebendo bastante atenção por parte dos taxonomistas nas últimas décadas, o que resultou em revisões taxonômicas para a maioria dos gêneros. *Bradea* escapou à atenção por muito tempo devido à escassez de coletas, ocasionada pela distribuição local e ocorrência restrita das espécies. O gênero foi descrito por Standley em 1932, como monotípico (*B. brasiliensis* Standl.), e em 1949 mais quatro espécies foram descritas por Brade (*B. anomala* Brade, *B. bicornuta* Brade, *B. kuhlmannii* Brade, *B. montana* Brade). Após ambas as obras príncipes, nenhuma outra publicação trouxe novas informações sobre o táxon. Considerando a ausência quase total de informações sobre *Bradea*, o presente estudo teve como objetivo realizar a revisão taxonômica do gênero.

A revisão taxonômica foi baseada na análise de materiais herborizados, incluindo os tipos nomenclaturais. Foram realizadas visitas a vários herbários nacionais e sete expedições a campo, nas quais todas as espécies puderam ser coletadas e observadas. O status de conservação das espécies foi proposto utilizando-se as categorias e critérios do sistema da IUCN, versão 3.1, e o cálculo de Extensão de Ocorrência (E00) e Área de Ocupação (A00) foi realizado através da ferramenta GeoCAT.

Com a revisão, foram produzidos a primeira chave para as espécies do gênero, pranchas com ilustrações e descrições completas das espécies e novos dados sobre morfologia, distribuição geográfica e habitat e status de conservação de todos os táxons. Além, foram solucionados problemas de tipificação e delimitação de espécies, com a descrição de novos táxons e uma sinonimização.

*Bradea* pode ser caracterizada pelo cálice com apenas dois ou menos comumente três lobos, corola tetrâmera, cápsula septicida comprimida lateralmente e sementes aladas. Apresenta semelhanças morfológicas com os demais gêneros de Coussareeae, tal como as estípulas lineares, com

coléteres na margem e no ápice do lobo, ramos com uma costa central e coloração da corola, em geral lilás a roxa, que sustentam seu atual posicionamento na tribo.

Nove espécies são reconhecidas para *Bradea*, sendo cinco novas para a ciência: *B. borrierioides* sp. nov., caracterizada pelas longas sinflorescências com padrão de ramificação monocasial; *B. laetereosa* sp. nov., com flores de cor magenta; *B. pubescens* sp. nov., única espécie de indumento viloso analisada por Brade, que assim nomeou o único material existente até a revisão mas não publicou validamente a espécie; *B. quartzicola* sp. nov., única espécie que ocorre em afloramento arenoso e quartzítico; e *B. sessilifolia* sp. nov., reconhecida pelas folhas sésseis e base retusa a truncada. *B. bicornuta* era conhecida apenas pelo material tipo e foi recoletada após 67 anos. *B. kuhlmannii* é colocada na sinonímia de *B. brasiliensis*, pois os caracteres utilizados para a separação das espécies apresentam um gradiente contínuo de variação e não são suficientes para sustentar os táxons como espécies distintas. A lectotipificação *B. bicornuta* é proposta, pois há ramos de espécies diferentes fixados na exsicata do material-tipo indicado na obra original da espécie.

*Bradea* possui distribuição restrita a vegetações campestres e inselbergues da Floresta Atlântica nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, ocorrendo em locais com acúmulo superficial de matéria orgânica, frequentemente entre bromélias. Seu centro de diversidade se encontra na região sul e serrana do Espírito Santo, onde ocorrem sete das nove espécies aceitas.

Todas as nove espécies se enquadram em alguma categoria de ameaça segundo os critérios da IUCN. *B. brasiliensis* é considerada Em Perigo (EN) e todas as demais são categorizadas como Criticamente em Perigo (CR). Os fatores que levam as espécies a serem ameaçadas são o elevado endemismo, já que a maioria ocorre em inselbergues próximos ou possuem registro até o momento para um único afloramento, e também pela exploração sem qualquer planejamento dos afloramentos, com grande perda da vegetação.

Apesar dos esforços, *Bradea* ainda é um dos gêneros menos coletados de Rubiaceae no Brasil, com quase todas as espécies sendo representadas por menos de 10 espécimes depositados em coleções. Faz-se necessária a inclusão de *Bradea* em estudos filogenéticos, a fim de elucidar a relação do mesmo com os demais gêneros de Coussareeae, assim como também entender o relacionamento entre as espécies e a evolução dos caracteres morfológicos. Atenta-se ainda à necessidade urgente de políticas de conservação dos inselbergues, já que são protegidos por poucas Unidades de Conservação.

# ANATOMIA DO LENHO DE ESPÉCIES DE *STRYPHNODENDRON* MART. (LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE): UM GÊNERO TÍPICAMENTE BRASILEIRO

**Kelly Cristina Moreira dos Santos & Cátia Henriques Callado\***

\*Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal (Mestrado), Rio de Janeiro, Brasil.

[kellyuerj@gmail.com](mailto:kellyuerj@gmail.com) e [catiacallado@terra.com.br](mailto:catiacallado@terra.com.br)


O gênero *Stryphnodendron* é considerado como predominantemente brasileiro, uma vez que aqui ocorrem 89% das espécies que o compõem. Suas espécies são medicinais e morfologicamente muito semelhantes. Com o objetivo de contribuir para uma melhor delimitação das espécies em conflito taxonômico no gênero, este trabalho investigou a existência de caracteres anatômicos no lenho, que possam segregar: *S. adstringens* (Mart.) Coville de *S. obovatum* Benth.; *S. pulcherrimum* (Willd.) Hochr de *S. polyphyllum* Mart. e *S. guianense* (Aubl.) Benth. e *S. paniculatum* Poepp. de *S. polystachyum* (Miq.) Kleinhoonte, além de verificar se a anatomia do lenho corrobora a proposta de delimitação de *S. polyphyllum* em relação a descrição de um novo táxon.

O material botânico foi obtido por coleta *in situ* para as espécies de ocorrência na Mata Atlântica e a partir de coleções de madeira de referência para as espécies de ocorrência no Cerrado e na Floresta Amazônica. Foram aplicadas as metodologias usuais para anatomia do lenho e as descrições seguiram em linhas gerais as recomendações a IAWA Committee. Os dados foram submetidos à análise de agrupamento e a análise de componentes principais, a fim de comparar o valor diagnóstico da anatomia do lenho na delimitação das espécies.

Os resultados demonstraram que as espécies apresentam características anatômicas em comum, que podem ser diagnósticas para o gênero *Stryphnodendron* como: camadas de crescimento distintas, raios homogêneos formados por células procumbentes, parênquima axial paratraqueal, pontoações ornamentadas e cristais prismáticos formando séries cristalíferas no parênquima axial e nas fibras. Os resultados também demonstraram um conjunto de caracteres que permitiram a segregação das espécies estudadas:

A individualização de *S. adstringens* e *S. obovatum* ocorreu por *S. obovatum* apresentar camadas de crescimento demarcadas por parênquima marginal, vasos em arranjo radial a diagonal e parênquima axial em faixas, características ausentes em *S. adstringens*, além dos dados quantitativos, altura e largura dos raios e diâmetro das pontoações parênquimo-vasculares.

A segregação de *S. pulcherrimum* e *S. guianense* ocorreu por *S. guianense* apresentar parênquima axial paratraqueal vasicêntrico e *S. pulcherrimum* apresentar parênquima axial paratraqueal vasicêntrico e aliforme, associados aos dados quantitativos, comprimento das fibras, número de células na largura dos raios, altura dos raios e diâmetro das pontoações parênquimo-vasculares.



A individualização de *S. pulcherrimum* e *S. polyphyllum* ocorreu por *S. polyphyllum* apresentar fibras gelatinosas e vasos solitários e em agrupamento de 2 ou 3 (elementos de vasos) e por *S. pulcherrimum* apresentar vasos exclusivamente solitários.

A segregação de *S. paniculatum* e *S. polystachyum* ocorreu por *S. paniculatum* apresentar camadas de crescimento demarcadas por anel semi-poroso e espessamento helicoidal nas fibras e *S. polystachyum* apresentar fibras septadas e raios multisseriados, além dos dados quantitativos, frequência de vasos e diâmetro das pontoações parênquima-vasculares.

Quanto a criação de dois táxons distintos, *S. polyphyllum* e *Stryphnodendron sp. nov.*, as diferenças encontradas no lenho dos dois grupos de amostras analisadas foram a presença de fibras gelatinosas em *S. polyphyllum* e a altura dos raios. Este resultado não sustenta a criação de um novo táxon para o gênero e sugere uma investigação sobre o potencial plástico de *S. polyphyllum*.

As análises estatísticas evidenciaram a segregação das sete espécies investigadas e a ordenação das mesmas em dois grupos, um com as espécies multifolioladas (5 espécies) e outro com espécies paucifolioladas (2 espécies). As espécies paucifolioladas foram segregadas por apresentarem parênquima axial difuso em agregados e diâmetro tangencial dos vasos superior a 200 µm, características ausentes nas multifolioladas. Esta divisão corrobora os resultados encontrados no último trabalho de revisão taxonômica do gênero.

(Apoio: FAPERJ, CAPES e CNPq)

# FILOGENIA E CITOTAXONOMIA DO CLADO *STENORRHYNCHOS* (SPIRANTHINAE, CRANICHIDINAE, ORCHIDOIDEAE, ORCHIDACEAE)

**Leonardo Ramos Seixas Guimarães, Fábio de Barros\*  
& Gerardo A. Salazar**

\*Instituto de Botânica, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal  
e Meio Ambiente (Doutorado), São Paulo, Brasil.

[leo.rsguimaraes@hotmail.com](mailto:leo.rsguimaraes@hotmail.com) e [fdebarros@terra.com.br](mailto:fdebarros@terra.com.br)

A delimitação genérica da subtribo Spiranthinae tem sido objeto de controvérsias desde os sistemas de classificação mais antigos para Orchidaceae, porém só recentemente trabalhos baseados em relações filogenéticas têm esclarecido o posicionamento e os limites dos gêneros e grupamentos dentro da subtribo. Para as relações entre os gêneros, os dados das sequências nucleotídicas permitiram identificar quatro clados principais em Spiranthinae: (a) o clado *Stenorhynchos* s.s., (b) o clado formado pela maioria dos gêneros previamente atribuídos à "aliança *Pelexia*"; (c) o clado formado pelo par *Eurystyles* e *Lankesterella*; e (d) o clado formado por *Spiranthes* e outros gêneros na maior parte ou exclusivamente diversificados no limite norte dos Neotrópicos.

O presente trabalho apresenta a sistemática do clado *Stenorhynchos* baseada em filogenia de dados moleculares dos marcadores nuclear (ITS) e plastidiais [*matK-trnK* e *trnL-F*]. O clado *Stenorhynchos* é monofilético com um suporte fraco, sendo *Thelyschista ghillanyi* o grupo-irmão do restante do clado. As relações internas do clado não estão completamente resolvidas. *Pteroglossa*, *Sacoila* e *Skeptrostachys* são polifiléticos. O gênero *Stenorhynchos* é monofilético e o nome *Stenorhynchos millei* poderá ser aceito para uma espécie separada de *S. speciosum*.

É também apresentada uma sinopse taxonômica do referido clado, em que são listados 10 gêneros e 64 espécies, além de serem exibidos dados sobre distribuição geográfica, notas taxonômicas e tipificações. Uma espécie de *Sacoila* e uma de *Stenorhynchos* não estão incluídas na lista, sendo consideradas *incertae sedis*. Treze lectotipificações e quatorze novos sinônimos são propostos.

Finalmente, números cromossômicos de dezoito espécies de Spiranthinae do Brasil e México e duas de Cranichidinae do Equador foram analisados, sendo dezesseis deles inéditos. Para *Mesadenella cuspidata* (2n = 38/42), um novo citótipo foi encontrado. Além disso, ideogramas de cinco espécies brasileiras são apresentados. Os dados cromossômicos sustentam as relações filogenéticas sugeridas por estudos moleculares e citológicos prévios.

# SÍNTESE FLORÍSTICA E BIOGEOGRÁFICA DO DOMÍNIO FITOGEOGRÁFICO DA CAATINGA

**Marcelo Freire Moro & Fernando Roberto Martins\***

\*Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (Doutorado), Campinas, Brasil.


[bio\\_moro@yahoo.com.br](mailto:bio_moro@yahoo.com.br) e [fmartins@unicamp.br](mailto:fmartins@unicamp.br)

O Domínio Fitogeográfico da Caatinga (DFC) corresponde de modo muito próximo à delimitação cartográfica do semiárido brasileiro. É condicionado pela elevada irradiação solar, pluviosidade média a baixa, e chuvas irregulares e concentradas em poucos meses. A vegetação típica do DFC é a caatinga *sensu stricto*, que ocorre na Depressão Sertaneja, uma superfície do embasamento cristalino. Além das áreas cristalinas, encontramos também superfícies sedimentares (bacias do Araripe, Parnaíba e Tucano-Jatobá e as dunas do São Francisco), que aumentam a elevada heterogeneidade ambiental do semiárido brasileiro.

O DFC foi largamente ignorado do ponto de vista dos estudos botânicos até o fim do século XX. Autores chegaram a considerá-lo como pobre em espécies e endemismos, refletindo mais a falta de coletas do que de fato a falta de espécies na região. Apenas nas últimas décadas um número crescente de estudos botânicos passou a focar o DFC. O recente aumento no número de levantamentos abre a oportunidade de se produzir uma síntese florística e biogeográfica, avaliando quão bem coletado está o domínio e identificando lacunas de conhecimento. Visamos aqui apresentar os resultados dessa síntese, baseada na construção de um banco de dados florístico-fitosociológico para o DFC.

Para sintetizar os dados florísticos disponíveis nós 1) agrupamos, por meio de uma revisão, a literatura florístico-fitosociológica atualmente disponível, 2) produzimos um catálogo das espécies reportadas pelos artigos e 3) desenvolvemos uma análise geral dos padrões fitogeográficos do DFC. Para tal, compilamos na literatura todos os trabalhos florístico-fitosociológicos que conseguimos localizar e os inserimos em um banco de dados bibliográfico. Trabalhos publicados na forma de artigos foram analisados em mais detalhe e todas as espécies reportadas nesses 131 levantamentos foram cadastradas em um banco de dados taxonômico. Por fim, utilizamos rarefação, estimadores de riqueza e análises multivariadas para avaliar as lacunas de coleta e os padrões biogeográficos do DFC.

Estamos em um momento em que há forte crescimento na produção de estudos botânicos sobre a Caatinga. A maior parte da literatura florística disponível é recente, produzida na década passada, revelando o quanto o DFC foi pouco estudado no passado. Pernambuco é o estado com mais levantamentos, enquanto a Bahia, Alagoas, Sergipe e Maranhão, os estados com menos. Analisando em detalhes os 131 levantamentos publicados como artigo, percebemos que há uma tendência de amostragem voltada para plantas lenhosas, ignorando o componente herbáceo. Entretanto, verificamos que a caatinga *sensu stricto* é mais rica em espécies herbáceas que lenhosas. Em algumas caatingas s.s., o componente herbáceo chega a somar mais de 60% das espécies.



Construímos com os 131 levantamentos analisados um banco de dados de ocorrência com 8076 registros de 1714 espécies nativas, as quais foram agrupadas em um catálogo geral. Baseados nesses dados, verificamos que Fabaceae e Euphorbiaceae foram as famílias mais ricas enquanto *Croton*, *Mimosa*, *Ipomoea*, *Chamaecrista*, *Erythroxylum*, *Senna* e *Cyperus* os gêneros mais ricos. Poucas espécies foram amplamente distribuídas pelo DFC, com a maioria das espécies sendo reportadas em apenas um levantamento. *Aspidosperma pyrifolium*, *Commiphora leptophloeos* e *Jatropha mollissima* são as espécies mais reportadas. Usando análises de rarefação e estimadores não paramétricos de riqueza, estimamos que pelo menos 40% da riqueza total do DFC ainda não foi amostrada por estudos florísticos.

Em relação à biogeografia, comparamos as afinidades florísticas entre as comunidades locais e encontramos três grupos distintos. A flora de ambientes cristalinos e sedimentares foi claramente diferente, constituindo dois núcleos florísticos bem individualizados, com os inselbergs representando um terceiro grupo menos definido. A flora dos inselbergs parece se distribuir ao longo de um gradiente: desde inselbergs floristicamente semelhantes à caatinga do cristalino, nas áreas mais secas, até inselbergs progressivamente diferentes, em áreas mais úmidas. As caatingas do cristalino (ou caatingas *sensu stricto*) também se distribuem, ao longo de um gradiente que parece ser predominantemente latitudinal, com as caatingas arbóreas do norte de Minas Gerais no extremo do gradiente. Já a flora das bacias sedimentares foi bastante congruente, e mesmo áreas distantes e disjuntas se agrupam floristicamente.

Mostramos, mediante uma síntese florística e biogeográfica, que a flora do DFC é bem mais diversa do que foi suposto no século XX. Também indicamos lacunas na amostragem (tende-se a coletar plantas lenhosas, ignorando as herbáceas) e na distribuição geográfica dos levantamentos. Essas lacunas, identificadas e mapeadas neste trabalho, abrem a possibilidade de maximizar a eficiência de novas coletas para o conhecimento do DFC. Também mostramos a existência de diferentes grupos florísticos no semiárido brasileiro, o que deve ser levado em consideração tanto por novos estudos quanto na alocação de novas unidades de conservação. (Financiamento FAPESP proc. 2009/14266-7, 2011/22498-5 e 2013/15280-9)

# COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO LENHOSA DE SAVANAS SOBRE AFLORAMENTOS ROCHOSOS NA TRANSIÇÃO CERRADO – AMAZÔNIA, MATO GROSSO

**Marcos José Gomes Pessoa, Eddie Lenza de Oliveira\*  
& Ivone Viera da Silva**

\*Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos (Mestrado), Alta Floresta, Brasil.

[marcos-af@hotmail.com](mailto:marcos-af@hotmail.com); [eddielenza@yahoo.com.br](mailto:eddielenza@yahoo.com.br)


Grande parte do território do estado de Mato Grosso corresponde à extensa faixa de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia submetida a condições edafoclimáticas e pedológicas distintas. Em função dos aspectos envolvidos na composição, estrutura e dinâmica da vegetação lenhosa em comunidades florestais e savânicas, áreas em que ocorre intercâmbio florístico e faunístico entre domínios adjacentes e diferentes são denominadas ecótonos ou enclaves. Nessas áreas, observa-se a formação de manchas de ecossistemas típicos de outras províncias, porém encravadas no interior de um domínio de natureza totalmente diferente e com elementos florísticos peculiares, como os enclaves de savana dispersos e com distintas extensões na Floresta Amazônica.

No Brasil, os enclaves de vegetação savânica (típica do bioma Cerrado) são conhecidos como Savanas Amazônicas, e ocorrem em áreas descontínuas por toda bacia Amazônica sobre distintos substratos, sendo a maioria distrófico e ácido. Esses enclaves savânicos ocorrem ainda sobre solos com afloramentos rochosos. Por este motivo, os denominamos Savanas Amazônicas Rochosas, a fim de destacar este tipo de vegetação das demais savanas que ocorrem dispersas no bioma Amazônia.

Poucos estudos com savanas amazônicas sobre solos profundos indicam que a riqueza e a diversidade de espécies são inferiores aquelas de cerrado, mas estudos dessa natureza não foram ainda desenvolvidos com enclaves de Savanas Amazônicas sobre solos litólicos em afloramentos rochosos. Em contraste, comunidades lenhosas de fisionomias savânicas sobre afloramentos rochosos no bioma Cerrado, chamadas de Cerrado Rupestre, têm sido amplamente estudadas no Planalto Central brasileiro nos últimos anos. Esses estudos indicam que a composição florística e a riqueza de espécies é semelhante àquelas observadas em cerrados sobre solo profundo, mas com a ocorrência de um pequeno número de espécies especialistas em cerrados rupestres.

Desse modo, nossos objetivos foram determinar e comparar a composição florística, a riqueza, a diversidade, a estrutura fitossociológica, a influência florística e edáfica do bioma Cerrado e Amazônia em savanas sobre afloramentos rochosos no Bioma Amazônia e compará-las com outras áreas de Cerrado Rupestre do Bioma Cerrado. Para isto foi demarcada uma grade com subparcelas de 20 x 20 m, totalizando 1 ha em uma área de Savana Amazônica sobre Afloramentos Rochosos no município de Nova Canaã do Norte e em outra de Cerrado Rupestre na Transição Cerrado-Amazônia em Ribeirão Cascalheira no estado de Mato Grosso. Todos os indivíduos lenhosos vivos com diâmetro a 30 cm do solo –  $D_{30} \geq 5$  cm foram incluídos na amostragem. Em cada subparcela foram determina-





dos os atributos físico-químicos dos solos e as coordenadas geográficas. A composição florística e a estrutura horizontal das comunidades foram analisadas por meio dos parâmetros fitossociológicos. A similaridade foi mensurada pelo coeficiente de Morisita ( $I_M$ ) e de Sørensen (CCs). As comparações florísticas foram feitas pelos perfis de diversidade, pelo índice de diversidade Shannon-Wiener ( $H'$ ) e pelas análises multivariadas de classificação (TWISNPAN e ISA) e de ordenação (PCA e CCA).

Foram registrados 1.315 indivíduos, pertencentes a 76 espécies, 65 gêneros e 36 famílias. Do total de espécies, 41 foram exclusivas do Cerrado Rupestre de Transição (CRT) e 23 da Savana Amazônica Rochosa (SAR) e 12 foram comuns nas duas comunidades. Houve baixa similaridade florística, tanto em termos qualitativos (CCs= 0,27) quanto quantitativos ( $I_M$ = 0,05). Ao classificar a vegetação pelo método de TWISNPAN, observou-se que as subparcelas foram divididas em dois grupos distintos com elevado autovalor (0,82).

A distinção florística entre as duas comunidades foi também notada quando consideradas as espécies indicadoras pelo ISA e estruturalmente importantes (VI) em cada comunidade. A riqueza observada e estimada foram superiores no CRT do que na SAR. Os índices de diversidade indicaram maior diversidade de espécies no CRT, com relação à SAR. A estrutura vertical foi semelhante entre as duas comunidades. Ao comparar a riqueza e a diversidade de espécies com áreas de Cerrado Rupestre próximo a transição com a Amazônia ficou evidenciado que estas áreas são mais diversas que a SAR.

Os solos de ambas as áreas são deficientes na mesma proporção, no entanto o solo da Savana Amazônica Rochosa apresentou maiores teores de macro e micronutrientes e menor disponibilidade de nutrientes para a vegetação decorrente do excesso de alumínio trocável, bem como do percentual de saturação por alumínio e pelos baixos teores de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ . No entanto, a acidez e a baixa disponibilidade de nutrientes dos solos não parecem ter limitado o crescimento das plantas, com relação ao número de indivíduos nas duas comunidades. A análise CCA apontou forte correlação florística com as propriedades edáficas nas duas comunidades, sendo a maioria dos atributos químicos associados positivamente com as espécies que exercem maior dominância na SAR. Em síntese, afirmamos que as propriedades florísticas da SAR e do CRT são distintas provavelmente devido à ação conjugada do isolamento geográfico, das propriedades físico-químicas dos solos e pela presença dos afloramentos rochosos, que atuam como filtros ambientais, formando conjuntos florísticos específicos em cada uma das comunidades estudadas.

# MORFOANATOMIA FOLIAR DE CHRYSOBALANACEAE R. BR. DA RESERVA FLORESTAL ADOLPHO DUCKE, MANAUS – AM, BRASIL

**Marcos Melo Corrêa, Maria Gracimar Pacheco de Araújo\*  
& Veridiana Vizoni Scudeller**

\*Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Diversidade  
Biológica (Mestrado), Manaus, Brasil.


[marcos.melo.correa@outlook.com](mailto:marcos.melo.correa@outlook.com) e [mgaraujo@ufam.edu.br](mailto:mgaraujo@ufam.edu.br)

Existe a necessidade prioritária de se conhecer a composição e distribuição das espécies vegetais nos ecossistemas amazônicos, tendo em vista a fragilidade dos ambientes florestais da região. Chrysobalanaceae é uma das famílias mais diversas da região e apresenta organização taxonômica interna problemática. Portanto, estudos contendo grande número de táxons são necessários.

Assim sendo, este trabalho apresenta a descrição morfológica e anatômica de 20 espécies de Chrysobalanaceae dos gêneros *Couepia*, *Licania* e *Parinari*, ocorrentes na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus – AM. A caracterização morfológica foi realizada com observação em estereomicroscópio, além de diafanização com hidróxido de sódio para detalhamento do padrão de venação. A epiderme foi caracterizada em vista frontal com uso do método de dissociação com solução de Franklin e cortes paradérmicos. O pecíolo, a nervura central e o mesofilo foram analisados a partir de cortes transversais no terço médio. Foi elaborada uma chave de identificação, assim como descrições padronizadas utilizando os caracteres morfoanatômicos com uso do software DELTA (DEscription Language for TAXonomy).

As espécies possuem o padrão morfológico comum na família, com folhas simples, alternas, dísticas, pecioladas, com estípulas presentes geralmente nos ramos mais jovens. O formato do limbo, tipo de estípulas e a presença ou posição das glândulas variam entre espécies. O padrão de venação mais recorrente é o eucamptódromo, com a ocorrência em alguns casos de venação eucamptódroma se tornando broquidódroma próximo ao ápice da lâmina foliar.

A vascularização do pecíolo em todas as espécies constitui-se em anéis contínuos ou descontínuos, ou ainda em arcos variando de dois a três. O feixe vascular da nervura central organiza-se em arcos formados por feixes colaterais que estão dispostos em número de dois ou três, ou formando um anel fechado que pode conter um arco floemático em seu interior. O tipo de contorno anticlinal predominante na face adaxial é reto e na face abaxial as paredes são retas a sinuosas. Os estômatos são paracíticos, ocorrendo em criptas estomáticas em seis espécies. O mesofilo de todas as espécies é dorsiventral, com ambas as faces revestidas por cutícula variavelmente espessa. As células epidérmicas da face adaxial apresentam formato tabular, cúbico ou retangular. Ocorrem no parênquima paliádico de uma a três camadas de células alongadas e o parênquima lacunoso apresenta compactação variável conforme a espécie. Extensões de bainha e esclereides colunares são de ocorrência comum.



As espécies apresentam características escleromórficas, como cutícula espessa, extensões de bainhas de feixes vasculares e criptas estomáticas. Esses caracteres indicam adaptação ao ambiente florestal de solo pobre, bem como podem ser caracteres vestigiais na evolução da família. Estômatos acima da linha epidérmica foram a única característica que ocorreu exclusivamente em *Licania*. Os caracteres anatômicos deram maior contribuição para a diagnose, pois apresentaram maior variação entre as espécies, sendo os principais utilizados na chave de identificação: posição das glândulas, posição dos estômatos na linha epidérmica, forma das estípulas, número de camadas da epiderme adaxial, número de feixes acessórios no pecíolo e desenvolvimento das aréolas. O conjunto de caracteres é eficaz na diferenciação entre espécies e forma uma base de dados para futuros estudos filogenéticos com a família, embora não ocorram caracteres anatômicos exclusivos para um gênero. (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas)

# BIOSYSTEMATICS STUDIES IN *PIRESIA* SWALLEN (POACEAE: BAMBUSOIDEAE: OLYREAE)

**Maria Luiza Silveira de Carvalho, Alessandra Selbach Schnadelbach  
& Reyjane Patricia de Oliveira\***

\*Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Botânica  
(Doutorado), Feira de Santana, Brazil.

[silveiradecarvalho@yahoo.com.br](mailto:silveiradecarvalho@yahoo.com.br) e [rpatricia.oliveira@gmail.com](mailto:rpatricia.oliveira@gmail.com)

*Piresia* Swallen is a genus of herbaceous bamboos which belongs to the tribe Olyreae and comprises monoecious and caespitose plants, characterized by the presence of dimorphic culms, being the leafy erect and with developed leaves and the decumbent ones, leafless or with reduced leaf blades. These decumbent culms grow near the ground, hidden under the litter, giving an every sterile appearance to the plants.

The genus occurs exclusively in Neotropical forests and its distribution consists in a disjunction between the Amazonian region, from Pará to Rondônia (in Brazil), French Guyana, Suriname and Trinidad, and the Atlantic Forest of northeastern Brazil, from Pernambuco to Bahia. Several questions related to its taxonomy and evolution were the main focus of this work.

A phylogenetic study was driven using a nuclear DNA (ITS) and plastid spacers (*trnD-trnT*, *trnS-G*, *rpl32-trnL*, *psbA-trnH*), in order to understand the relationships between the genus and other members of the subtribe Olyrinae. The results revealed that *Piresia* is close related to *Reitzia* Swallen, a monotypic genus endemic of the Atlantic Forest, which has a geographic distribution from Rio de Janeiro to Santa Catarina. And in order to maintain the monophyly of *Piresia* and simplify future nomenclatural issues the conservation of its name was proposed against *Reitzia*.

This phylogenetic study also indicated that *Piresiella* Judz., Zuloaga & Morrone, a monotypic genus endemic from Cuba, is related to another subtribe, Buergersioclinoe, which has included only a single species endemic from New Guinea. These results led us to hypothesize an Asian origin for the tribe Olyreae with a further dispersion to the America, by the Bering Strait, according to the Boreo tropical theory.

*Piresia* now includes 15 species, a number three times higher than was known until the present, five of them occurring exclusively at the Amazon region, while the others are endemic of the Atlantic Forest. This geographic structuration was also confirmed in the phylogenetic analyses, and by certain macro and micromorphological characters.

Most of the new species were recognized using morphometric analyses and ISSR molecular markers, due to the existence of an ample variation and a low morphological differentiation among them. And in general, the species are considered in danger of extinction because of the loss of their natural habitats. In this study, it was also detected the presence of cryptic species and a natural hybrid among the new species, probably related to the sympatric speciation occurrence in the genus. This process has never been described to the tribe Olyreae before and may be related to a process of disruptive selection on genes related to the formation of lodicules, a particular floral organ of Poaceae.

(Supporting: CNPq, FAPESB, and the Plantações Michelin do Brasil)

# SISTEMA REPRODUTIVO E LIMITAÇÃO POLÍNICA EM PLANTAS DA FLORESTA ATLÂNTICA COM ÊNFASE EM POLINIZAÇÃO POR BEIJA-FLORES


**Marina Wolowski & Leandro Freitas\***

\*Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Botânica (Doutorado), Rio de Janeiro, Brasil.

[marina.wolowski@gmail.com](mailto:marina.wolowski@gmail.com) e [leandro@jbrj.gov.br](mailto:leandro@jbrj.gov.br)

O sistema reprodutivo das plantas tropicais é caracterizado pela prevalência de espécies de cruzamento cruzado que dependem dos polinizadores para atingir o sucesso reprodutivo. A redução do sucesso reprodutivo decorrente da inadequada deposição de pólen no estigma é definida como limitação polínica. As plantas tropicais tem maior propensão à limitação polínica devido à alta diversidade e competição pelos polinizadores. Assim, estudos com espécies tropicais e em comunidades que partilham o mesmo grupo de polinizadores são promissores para avaliar a eficiência da polinização. A motivação para realização deste estudo se deu tanto pela escassez de estudos de sistema reprodutivo e limitação polínica em comunidades de plantas polinizadas por beija-flores quanto pelo acúmulo de estudos pontuais em biologia reprodutiva de plantas nativas da Floresta Atlântica. Para preencher esta lacuna de conhecimento, a comunidade de plantas ornitófilas de uma área de Floresta Atlântica montana no Parque Nacional do Itatiaia foi estudada quanto ao sistema reprodutivo e a ocorrência e magnitude da limitação polínica e as plantas da Floresta Atlântica foram avaliadas quanto a extensão da limitação polínica através de meta-análise dos estudos em biologia reprodutiva desenvolvidos no país.

Ambas características das plantas e da interação planta-polinizador podem influenciar o sistema reprodutivo das plantas, como a estratégia de forrageamento (territorial ou rota de captura) em plantas polinizadas por beija-flores. Nesse caso, foi testada a hipótese de que o comportamento de rota de captura de beija-flores eremitas promova polinização cruzada, enquanto que o comportamento territorial dos beija-flores não eremitas favorece a autopolinização. Assim, foi esperado a manutenção da autoincompatibilidade em plantas polinizadas por beija-flores não eremitas. A incidência de autoincompatibilidade foi avaliada para dois conjuntos de dados: 27 espécies da comunidade de plantas ornitófilas do Itatiaia e 73 espécies incluindo uma revisão de estudos de sistema reprodutivo de espécies neotropicais polinizadas por beija-flores. A autoincompatibilidade (medida como  $\leftarrow 0,3$  para o Índice de Autoincompatibilidade) ocorreu em apenas 33% das plantas neotropicais polinizadas por beija-flores. A interação beija-flor e hábito teve efeito no sistema reprodutivo, assim como a relação filogenética. Especificamente, ervas polinizadas por beija-flores não eremitas tiveram maior autoincompatibilidade do que plantas lenhosas polinizadas por não-eremitas, e ervas polinizadas por ambos eremitas e não eremitas. Para a comunidade do Itatiaia, 30% das espécies são autoincompatíveis. A autoincompatibilidade foi mais elevada em ervas que em espécies lenhosas e aumentou com a agregação das plantas, mas não teve relação com a estratégia de forrageamento, densidade



de plantas, ou display floral. Embora beija-flores diferem em suas estratégias de forrageamento, essas diferenças comportamentais parecem ter apenas uma influência menor sobre a incidência de autoincompatibilidade. A proximidade filogenética parece ser o determinante mais forte do sistema reprodutivo em plantas polinizadas por beija-flores no Neotrópico.

Para plantas polinizadas por beija-flores, as previsões foram de maior limitação polínica para os aspectos qualitativos do que quantitativos e de um efeito menor da variação temporal, considerando que beija-flores são vetores constantes e eficientes de pólen, mas podem transferir pólen de baixa qualidade (e.g., auto pólen). A polinização natural foi comparada em relação a polinização cruzada manual através do tamanho do efeito para os aspectos quantitativos (taxa de frutificação e produção de sementes por fruto) e qualitativos (peso de sementes e taxa de germinação) em 21 espécies da comunidade de plantas polinizadas por beija-flores no Itatiaia ao longo de dois anos. A magnitude da limitação polínica foi alta para o componente qualitativo de germinação de sementes (0,83) mas não foi significativa para o peso das sementes (-0,03). Para os componentes quantitativos, a limitação polínica foi de baixo a moderada (0,31 para produção de sementes e 0,39 para taxa de frutificação). Os fatores preditores como parentesco filogenético, sistema reprodutivo, autogamia, densidade das plantas e especialização da polinização não explicaram adequadamente a variação da limitação polínica dentro da comunidade. Apesar da extensão da limitação polínica nas plantas polinizadas por beija-flores nessa comunidade, as causas da insuficiência de pólen não são claras. Outras variáveis não testadas podem contribuir para a limitação polínica ou as causas podem variar entre as espécies.

A avaliação da limitação polínica na escala do bioma da Floresta Atlântica brasileira é especialmente interessante devido a sua elevada diversidade e grau de ameaça à conservação. De fato, muitas espécies de plantas tropicais dependem de polinizadores para a reprodução, mas a avaliação do impacto desta dependência através de diferentes níveis de especialização da polinização ainda não tinha sido avaliada nessa escala. Para isso, estudos desenvolvidos entre 1985 e 2012 foram revisados e o tamanho do efeito de cada espécie foi calculado a partir dos dados de frutificação após polinização manual cruzada e polinização natural. A limitação polínica foi moderada, com magnitude de 0,50 e intervalo de confiança de 95% [0,37, 0,62], para 126 espécies. A limitação de pólen foi registrada em 39% dessas espécies. A especialização da polinização foi o fator que melhor explicou a ocorrência de limitação polínica. Plantas com especialização fenotípica (flores zigomórficas) e ecológica (polinização por uma espécie de polinizador) tiveram maior limitação polínica que generalistas (flores actinomórficas e plantas com duas ou mais espécies de polinizadores, respectivamente), enquanto plantas generalistas funcionais (polinização por três ou mais grupos funcionais de polinizadores) não registraram limitação polínica. Por outro lado, sistema reprodutivo, autogamia, hábito e relação filogenética não influenciaram a ocorrência de limitação polínica. A limitação polínica foi observada na Floresta Atlântica e sua magnitude foi comparável as angiospermas como um todo. A constatação de que especialização da polinização foi o preditor mais forte da limitação polínica sugere que as plantas especializadas podem ser mais propensas a falhas reprodutivas como um resultado da perda de polinizadores neste bioma.

Como perspectiva futura nos estudos de sistema reprodutivo e limitação polínica é desejável maior padronização de metodologia, ampliação de abordagens experimentais e contextualização da variação temporal e espacial das interações planta-polinizador em um cenário de mudanças ambientais de fragmentação de habitat e clima.

# MORFOANATOMIA, HISTOQUÍMICA E ULTRAESTRUTURA FLORAL DE ESPÉCIES DE ANNONACEAE DO CERRADO

**Natália Arias Galastri, Élder Antônio Sousa Paiva, Fernando Augusto Oliveira Silveira, Denise Maria Trombert Oliveira\***

\*Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (Doutorado), Belo Horizonte, Brasil.

[nagalastri@yahoo.com.br](mailto:nagalastri@yahoo.com.br) e [dmtoliveira@icb.ufmg.br](mailto:dmtoliveira@icb.ufmg.br)


Incluída em Magnoliales, Annonaceae é a maior família entre as Angiospermas basais, havendo carência de dados estruturais, histoquímicos e ultraestruturais das flores dessas plantas, especialmente do Cerrado. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo estrutural, histoquímico e ultraestrutural das flores de sete espécies de Annonaceae, típicas do bioma Cerrado (*Annona coriacea* Mart., *A. crassiflora* Mart., *A. dioica* A.St.-Hil., *A. emarginata* (Schltdl.) H.Rainer, *Duguetia furfuracea* (A.St.-Hil.) Saff., *Guatteria australis* A.St.-Hil. e *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart.).

Para isto, botões florais e flores durante a antese foram coletados e processados utilizando técnicas usuais de processamento para microscopia de luz, microscopia eletrônica de transmissão e microscopia eletrônica de varredura.

Muitas Annonaceae apresentam tecidos nutritivos (TNs) nas pétalas, que constituem adaptações à cantarofilia; analisaram-se as quatro espécies de *Annona* para caracterizá-lo. O TN encontra-se na porção adaxial da região basal das pétalas internas de *A. dioica*, das pétalas internas e externas de *A. emarginata* e restrito às margens da região basal das pétalas internas em *A. crassiflora* e *A. coriacea*. Essa região nutritiva apresenta epiderme uniestratificada, com variados tipos de células, e mesofilo parenquimático, com idioblastos fenólicos e cristalíferos, células com substâncias pécticas no espaço periplasmático e reserva de amido. Tais células apresentam matriz citoplasmática densa, rica em mitocôndrias, dictiossomos e plastídios em que se destacam grandes grãos de amido. É possível inferir que a oferta de alimento nestas regiões específicas das pétalas reduz a possibilidade de predação dos verticilos férteis, contribuindo para o sucesso reprodutivo destas plantas.

Para *Xylopia*, este trabalho apresenta o registro inédito de nectário floral, descrevendo a anatomia e a ultraestrutura destes nectários nas pétalas internas de *X. aromatica*. As pétalas internas apresentam, na região proximal, uma curvatura que forma a câmara de polinização, cuja porção interna a epiderme, desprovida de estômatos, está envolvida na síntese de néctar. O nectário é formado por epiderme secretora e tecido subglandular parenquimático, com células vacuoladas e ricas em amido. O néctar viscoso, cujo volume é suficiente apenas para tornar úmida a superfície do nectário, é consumido pelos tripes, que atuam como polinizadores. Há indícios de acúmulo do néctar no espaço subcuticular e liberação deste pela ruptura da cutícula.

Para as sete espécies, analisou-se também a ontogênese da antera e do pólen, estrutura relevante para o entendimento de relações filogenéticas em Annonaceae. As anteras são bitecas, tetrasporangiadas e extrorsas, o tapete varia de ameboide a glandular, e há anteras septadas, com septos parenquimáticos ou tapetais, bem como anteras asseptadas. A meiose também é variável, sendo



sucessiva ou simultânea e, após a microgametogênese, o pólen é liberado em tétrades ou mônades. Os dados obtidos indicam que anteras septadas estão associadas à formação de pólen composto e, dentre as espécies de *Annona* estudadas, *A. emarginata* é a que exhibe estados de caracteres embriológicos masculinos mais distintos.

Os caracteres embriológicos femininos também foram estudados para as sete espécies. Os óvulos caracterizam-se como bitegumentados, crassinucelados e pericalazais, variando de anátropos a anacampilótopos, unitários ou múltiplos por carpelo, respectivamente em placentação basal ou parietal. Tanto a megasporogênese quanto a megagametogênese caracterizam o desenvolvimento do tipo *Polygonum*. As espécies investigadas apresentam considerável uniformidade no desenvolvimento embriológico feminino, corroborando generalizações encontradas na literatura.

Com todos os caracteres florais analisados morfológica e anatomicamente, realizou-se uma avaliação de 218 caracteres estruturais de flores das Annonaceae estudadas, utilizando métodos filogenéticos comparativos, visando inferir a respeito do potencial uso desses caracteres para compreender a evolução floral na família. Construiu-se um fenograma, a partir do qual se pode reconhecer, entre outros aspectos, que *A. emarginata* é a espécie mais distinta entre as *Annona*, indicando que a inclusão de *Rollinia* em *Annona* deveria ser revista. Reconhece-se, ainda, que os caracteres florais mais informativos provêm da corola, em especial das pétalas internas, o que está intimamente relacionado ao elaborado processo de polinização de Annonaceae.

A análise do fenograma também aponta que, considerando-se somente espécies do cerrado, o gênero *Xylopia* está mais próximo de *Annona* que *Duguetia*, o que não corrobora os trabalhos filogenéticos envolvendo esses gêneros.

Em suma, este trabalho reúne um significativo conjunto de dados estruturais e ultraestruturais inéditos referentes às flores de espécies de Annonaceae típicas do Cerrado. São contribuições que favorecem o entendimento de relações ecológicas dessas plantas com seus polinizadores, bem como apontam aspectos relevantes, com potencial uso tanto taxonômico quanto filogenético. (CAPES, FAPEMIG).



# REDUÇÃO DO NÚMERO DE FOLÍOLOS A PARTIR DE UM ANCESTRAL COM FOLHAS COMPOSTAS: MORFOGÊNESE FOLIAR EM *METRODOREA* A. ST.-HILL. E ESPÉCIES RELACIONADAS (RUTACEAE)

**Rafael da Silva Cruz, Marilia Beirão Henriques Duarte,  
José Rubens Pirani & Gladys Flavia de Albuquerque Melo de Pinna\***

\*Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas  
– Botânica (Mestrado), São Paulo, Brasil.

[rafaeldscruz@gmail.com](mailto:rafaeldscruz@gmail.com) e [gfmpinna@usp.br](mailto:gfmpinna@usp.br)

A pesar de possivelmente ter um ancestral de folhas compostas pinadas, Rutaceae possui espécies com uma grande diversidade morfológica foliar, que inclui formas trifolioladas, palmadas, pinadas, simples e unifolioladas. *Metrodorea* A. St.-Hil. é um gênero neotropical que compreende espécies com folhas compostas e unifolioladas, possuindo heterofilia em algumas espécies (e. g. folhas compostas trifolioladas e folhas unifolioladas no mesmo ramo), além de uma intrigante estrutura protetora de gemas na base foliar.

Os objetivos deste estudo foram (i) examinar a morfogênese foliar de *Metrodorea* e em espécies proximalmente relacionadas de acordo com os tratamentos filogenéticos mais recentes e (ii) melhorar a compreensão da evolução morfológica das folhas dentro de *Metrodorea*.

Uma análise comparativa foi realizada a partir de seções histológicas e microscopia eletrônica de varredura dos ápices do sistema caulinar de cinco espécies de *Metrodorea*, quatro espécies de *Esenbeckia* Kunth e as espécies *Helietta apiculata* Benth. e *Raulinoa echinata* Cowan.

O primórdio de folha possui características comuns com o meristema apical caulinar em todas as espécies, como a organização túnica corpo, com camadas  $L_1$  e  $L_2$  apresentando apenas divisões anticlinais e camadas subjacentes com divisões em outros planos. Esta semelhança se mantém no ápice do primórdio ao longo de todo seu desenvolvimento.

A primeira estrutura formada é a base da folha. Em *Metrodorea*, a estrutura protetora de gemas inicia-se como apêndices pareados, revelando uma condição estipular. Essas estípulas, intrapeciolares, são uma autapomorfia do gênero *Metrodorea* e representam uma nova origem deste tipo de estrutura dentro das angiospermas. Nos demais gêneros, o crescimento adaxial, comum às espécies de *Metrodorea*, ocorre na área onde há formação de um pecíolo.

Segue-se diferenciação acrópeta de primórdios de folíolos, sendo dois proximais pareados e um terminal nas folhas trifolioladas, mas apenas o terminal nas folhas consistentemente unifolioladas. *R. echinata* e *Esenbeckia leiocarpa* Engl., que apresentam folhas simples, possuem apenas uma porção terminal responsável pela formação da lâmina foliar, semelhante ao primórdio de folíolo.



Rudimentos de folíolos foram observados em espécies heterofilas de *Metrodorea*, geralmente associados a limitação de espaço de desenvolvimento causada pelos outros primórdios dentro das estípulas protetoras unidas. Esses folíolos rudimentares, em folhas que seriam trifolioladas, muitas vezes são abortados, gerando uma morfologia bifoliolada ou unifoliolada. São propostos então os termos 'folhas unifolioladas precoces', para aquelas que possuem apenas um primórdio de folíolo e 'folhas unifolioladas tardias', para aquelas que perdem os folíolos adicionais ao longo do desenvolvimento.

O desenvolvimento de uma folha composta no grupo está associado a uma reiteração do desenvolvimento de um sistema caulinar, produzindo mais ou menos estruturas laterais. A quantidade de folíolos é dependente de uma maior ou menor determinação do primórdio foliar e sua redução pode ter sido favorecida pela perda de folíolos durante uma restrição de espaço necessário para o desenvolvimento. (Fapesp 11/04258-7; 11/12642-1)




# FLORAL AND VEGETATIVE MORPHOMETRICS OF THREE *PLATONIA INSIGNIS* MART. (CLUSIACEAE) POPULATIONS, A NATIVE TREE FROM THE BRAZILIAN AMAZON

**Raysa Valéria Carvalho Saraiva, Emília Cristina Girnos  
& Patrícia Maia Correia de Albuquerque\***

\*Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em  
Biodiversidade e Conservação (Mestrado), São Luís, Brasil.

[raysaval@hotmail.com](mailto:raysaval@hotmail.com) e [patemaia@hotmail.com](mailto:patemaia@hotmail.com)

*Platonia insignis* Mart., the bacurizeiro, is an evergreen Clusiaceae tree species belonging to monotypic genus that reaches 15 to 30 m tall. *P. insignis* is a native tree from the Brazilian Amazon forests whose dispersion reached the cerrados (savannahs) and plains to the east where it is frequently found in the northeastern States of Piauí and Maranhão. There are rare occurrences of the species in Peru, Colombia, Venezuela and the Guianas. The bacurizeiro is one of the highest commercial value Amazon fruit trees and its fruits consumed in different ways (pulp, juices, sweets, etc.); the oil from its seeds is largely used in popular medicine and the wood in the construction and shipbuilding. Factors such as the logging, expansion of urban areas, farming and ranching have become threats to the genetic heritage of species. Thus, the knowledge of population variation, the *ex situ* preservation and the assessment of germoplasm may help *P. insignis* management and domestication programs. The morphometric analysis of geographic variations may help in the discrimination of populations, subspecies and species. Three populations of *P. insignis* have been observed in the northeast region of the State of Maranhão that differ in flower color: the red population that produces dark pink flowers; the pink population that produces light pink flowers, and the white population with yellowish-white flowers. From multivariate statistical analysis we aimed at characterizing such populations using morpho-anatomical leaf and flower morphology parameters directed to addressing the questions: a) Is it possible to distinguish the *P. insignis* populations to varieties through flower morphometric analysis, vegetative or both? b) Is it possible to identify other variations, besides the color of the flowers? A total of 40 *P. insignis* individuals have been sampled in the cities of São Luís and Chapadinha. We measured 16 floral and 15 leaf traits. Statistical calculations have been made in the SPSS software (Version 15 for Windows). The morphological traits varied more than the anatomical (79.4% and 42.66% on average, respectively). Area, fresh and dry mass were the leaf parameters that show more variations. Two groups have been formed in the red population related to the occurrence area according to the morphological characteristics: Chapadinha individuals and São Luís individuals. Specimens from São Luís had the highest areas and fresh mass. There was a higher number of individuals with amphi-hypostomatic leaves on the white (88.9%, N=9) and red populations (60%, N=15), while 68.7% individuals of the pink population (N=16) showed hypostomatic leaves. The stomata are



paracytic. The morphological characteristics analyzed on *P.insignis* flowers showed higher medium values for the pink population, intermediate values for the red population and lower values for the white population in most of the parameters considered. The flower morphological characteristics showed variation coefficient between 1.9 and 31.9% being number of nectaries per flower (NNEC) and number of stamen beams (NSTA) the most stable characteristics and length of peduncle (LP) the most variable parameter. The white population showed higher variation as to flower characteristics. The length of gynoecium + the length nectary (LG+NEC), the total length (TL) and the length of gynoecium (LG) were the principal components considering flower analysis. The red population that comes from Chapadinha showed the highest TL, LG+NEC and LG medium values when compared to the red population of São Luís. *P.insignis* flowers showed variations as to the number of locules per ovaries (3 - 5), number of stigmas (3 - 5), NNEC (2 - 7) and NSTA (2 - 7). Flower abnormalities such as petal formation in place of stamen beam, merged stigmas and stamen beams, large and reduced loci were observed in 7% of the analyzed flowers, most of them on the red population (4%). The three populations did not show significant differences considering leaf traits ( $p$  of  $\lambda$  of Wilk=1.00,  $\lambda$  of Wilk=0.966,  $F=0.085$ ) and floral traits ( $p$  of  $\lambda$  of Wilk=1.00,  $\lambda$  of Wilk=0.959,  $F=0.094$ ), thus do not support a separation into varieties. They did not group through the WPGMA and Ward's methods, which strengthens the artificiality of distinction into varieties. Flower abnormalities are associated to homeotic genes, inbreeding depression and to self-pollination. *P.insignis* is considered to be allogamous species with sporophytic self-incompatibility. However, studies about pollination of the species are scarce and most of them were performed in non-natural conditions. In isolated plants in the states of Maranhão and Piauí it is assumed that fruits were produced by self-pollination. The possibility of self-pollination occurrence suggests that *P. insignis* may be undergoing a selfing process, common transition in plants, indicating a mixed mating system. Individuals from the Chapadinha and São Luís red population were separated according to leaf and flower morphological traits. It is suggested that the individuals are experiencing habitat-specific selective pressures, whose result may be ecotypic differentiation. The morphological difference between individuals may represent early stages of geographical speciation.

# ANÁLISE PALINOLÓGICA DO PÓLEN APÍCOLA PRODUZIDO NO ESTADO DE SERGIPE, BRASIL

**Rodolfo de França Alves & Francisco de Assis Ribeiro dos Santos\***

\*Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de pós-graduação em Botânica (Mestrado), Feira de Santana, Brasil.

[rodolfoalves\\_18@hotmail.com](mailto:rodolfoalves_18@hotmail.com) e [fasantos@uefs.br](mailto:fasantos@uefs.br)

O pólen apícola produzido no estado de Sergipe, Brasil, foi analisado por dois anos (2011-2012), com um estudo dos municípios produtores e um estudo focal realizado em Brejo Grande, no litoral do Estado, com o objetivo de determinar as principais fontes polínicas visitadas por *Apis mellifera* L. e estabelecer uma associação entre o espectro polínico e as variáveis climáticas (temperatura e pluviosidade).

O pólen apícola foi tratado através do processo de acetólise para o estudo dos grãos e, no mínimo, 500 grãos de pólen por amostra foram contados no processo de quantificação. Foram montadas cinco lâminas com gelatina glicerinada, sendo que uma lâmina foi montada com uma coloração específica denominada safranina. A palinoteca do LAMIV/UEFS, assim como uma literatura específica e álbum com fotomicrografias, foi utilizada para auxiliar na identificação botânica dos tipos polínicos.

Os resultados encontrados mostram que Sergipe apresenta municípios que são bem sucedidos na produção apícola, pois com base na análise de 12 amostras de pólen apícola dos municípios de Barra dos Coqueiros, Brejo grande, Estância e Pacatuba, foi possível encontrar 46 tipos polínicos, distribuídos em 19 famílias. Fabaceae foi a família com maior número de tipos polínicos (19) e *Mimosa* (8), foi o gênero mais representativo. Asteraceae, Anacardiaceae, Myrtaceae e Rubiaceae apresentaram três tipos polínicos cada, e Lamiaceae dois. As outras famílias (13) obtiveram apenas um tipo polínico cada.

Oito tipos polínicos foram classificados como muito frequente (→50%), todavia o tipo *Cocos nucifera* esteve presente em 100% das amostras. Pode-se concluir que Arecaceae (*Cocos nucifera* L.) e Fabaceae são as fontes polínicas primárias para *Apis mellifera* em Sergipe, seguido por Asteraceae, Anacardiaceae, Poaceae e Rubiaceae. O espectro polínico revelou que pelo menos 29 gêneros de plantas contribuíram para a produção de pólen no Estado.

Em relação ao estudo focal, foram analisadas 24 amostras de pólen apícola do município de Brejo Grande, coletado de 2011 a 2012, onde 56 tipos polínicos de 23 famílias foram encontrados. Fabaceae foi a família com a maior diversidade de tipos polínicos (19), seguido por Asteraceae (5), Myrtaceae e Rubiaceae (4), Anacardiaceae (3), Amaranthaceae, Euphorbiaceae e Solanaceae (2), com as outras famílias (15) com um tipo polínico cada. O tipo polínico *Cocos nucifera* foi o mais representativo, sendo encontrado em 23 amostras, seguido pelo tipo polínico *Myrcia*, em 22 amostras. O pólen de *Mimosa* esteve presente em 100% das amostras de Brejo Grande. Alguns tipos polínicos foram influenciados por fatores climáticos, principalmente a pluviosidade que apresentou uma oscilação maior quando comparado com a temperatura.



Baseado nos dois estudos, podemos afirmar que a diversidade de tipos polínicos encontrada nas amostras reflete a riqueza botânica no Estado. Estes resultados mostram que as principais fontes de *Apis mellifera* no estado de Sergipe são Arecaceae e Fabaceae seguido das famílias Anacardiaceae, Asteraceae, Poaceae e Rubiaceae. (Financiamento: CNPq, CAPES)

# ESTRUCTURA, DIVERSIDAD Y DIFERENCIACIÓN GENÉTICA DE PSEUDOPHOENIX (ARECACEAE) EN LA HISPANIOLA

**Rosa Rodríguez & Javier Francisco-Ortega\***

Florida International University, Masters of Science in Biology, Florida, USA.

[rosabotanic@gmail.com](mailto:rosabotanic@gmail.com), [ortegaj@fiu.edu](mailto:ortegaj@fiu.edu).

El Caribe es considerado como uno de los “Hotspots” con las más alta probabilidad de extinción de plantas y vertebrados debido a los impactos negativos de la deforestación. El género *Pseudophoenix* está restringido a la Cuenca del Caribe. El mismo cuenta con cuatro especies y su centro de diversidad es la Hispaniola (Haiti y República Dominicana). Tres especies (*P. ekmanii*, *P. lediniana*, and *P. vinifera*) ocurren solo en la Hispaniola. Dos de esas especies (*P. ekmanii* and *P. lediniana*) están críticamente amenazadas (CR, sensu IUCN). *Pseudophoenix* es el único miembro de la subfamilia Ceroxyloideae presente en el Caribe y el único género en la tribu Cyclospatheae. En este estudio nosotros nos propusimos investigar la diversidad y la estructura genética del género *Pseudophoenix* usando diez marcadores micro-satelitales (SSRs) previamente diseñados.

Dieciocho poblaciones y 454 individuos de todas las especies del género fueron incluidos en esta investigación. Los resultados muestran exceso de homocigotos y significativamente altos coeficientes endogamia en todas las poblaciones a través de todos los loci polimórficos. Los valores globales de Dest (0.75) indica altos niveles de diferenciación en todas las poblaciones. Los niveles más altos de diferenciación fueron encontrados entre poblaciones de diferentes especies. Los números más alto de migrantes por generación fueron encontrados entre poblaciones de la misma especies geográficamente cercanas.

El análisis de AMOVA mostro que la mayoría de la variabilidad (54%) se encuentra dentro de las poblaciones. Usando el método de agrupamiento Bayesiano y el Neighbor Joining se identificaron 11 y cuatro grupos respectivamente; estos grupos coinciden con la taxonomía aceptada para el género. En este estudio también se incluyó la única población conocida de un morfo de *Pseudophoenix* que aún no está descrito; se cree que este morfo puede representar una nueva especie para la República Dominicana. Ambos análisis, Neighbor Joining y componentes principales sugieren que ese nuevo morfo se encuentra cercanamente relacionado a la población de *Pseudophoenix* en las Islas Turcos y Caicos. Sin embargo, el análisis de agrupamiento Bayesianos ubican la población del nuevo morfo en un grupo distinto separado de todas las otras poblaciones. Como resultado final, este estudio proporciona información pertinente a la conservación genética del género.

# FLORAL REWARDS, PHYLOGENY AND EVOLUTION OF THE SPECIES OF TIGRIDIEAE (IRIDOIDEAE: IRIDACEAE)

**Tamara Pastori, Lilian Eggers, Olivier Chauveau  
& Tatiana Teixeira de Souza-Chies\***

\*Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Botânica (Mestrado) Porto Alegre, Brasil.

[tamarapastori@gmail.com](mailto:tamarapastori@gmail.com) e [tatiana.chies@ufrgs.br](mailto:tatiana.chies@ufrgs.br)\*

High diversity of floral rewards is an important strategy used by angiosperms to attract pollinators. Pollen and nectar are usual floral rewards offered in most families, meanwhile floral oils are known for specialized pollination strategies present only in few families. Iridaceae is one of the few families that offer three types of floral rewards for pollinators: pollen, nectar and floral oils. Floral oils are only present in American genera of the subfamily Iridoideae, especially in Tigridaeae. Tigridaeae encompasses taxonomically complex species from Central and South American and is presently divided in two clades (for instance named by A and B), in which the main genera are non-monophyletic. *Cypella* Herb. is one of the largest genera of Tigridaeae and presents a combination of three types of floral rewards, at least for *C. herbertii* (Lindl.) Herb., that seems an unusual strategy in Iridoideae (Iridaceae).


In this context, this study aims to characterize floral rewards offered by species of the clade A of Tigridaeae, particularly in species of *Cypella* and related genera, in order to study their evolution in a wide phylogenetic context. The resulting framework is used to assess the extent to which this unusual combination of rewards has evolved among South American Tigridaeae as well as to make hypotheses about this particular evolutionary pathway in a broader phylogenetic context.

For anatomical examination of floral rewards, a total of 33 *Cypella* accessions, representing 19 species and three subspecies, were sampled from Northern Argentina, Southern Brazil and Uruguay. Samples from the closely related genera *Calydorea* Herb., *Catila* Ravenna, *Herbertia* Sweet, *Kelissa* Ravenna and *Onira* Ravenna were selected for suprageneric comparisons. Fresh flowers at anthesis and pre-anthesis were collected and processed for analysis of floral rewards. Semi-thin sections obtained with the microtome and hand-sections of fresh material were submitted to different histochemical tests with periodic acid-Schiff (PAS reaction), Lugol, Ruthenium red, Sudan Black and Sudan Red 7B.

In addition, 60 species among the Clade A of Tigridaeae including *Cypella*, *Calydorea*, *Catila*, *Cipura* Aubl., *Kelissa*, *Onira*, *Larentia* Klatt, *Nemastylis* e *Ainea* Ravenna were used to phylogenetic analyses based on six plastidial markers: the codificant regions *matK* and *rbcL*, the introns *matK-5'trnK* and *rps16*, and the intergenic spacer regions *trnH-psbA* and *trnQ-rps16*. The genera of the Clade B of Tigridaeae, *Phalocalis* Herb. and *Gelasine* Herb, were sampled as outgroups. Phylogenetic analysis using parsimony, maximum likelihood and bayesian inference were performed. The molecular phylogenies were used to infer the evolutionary history of pollination rewards in the clade.

The structural observations and histochemical tests showed that the perigonal glandular structures present in flowers of *Cypella*, *Herbertia*, *Kelissa* and *Onira* were dense glandular fields of





oil-producing epidermal and unicellular trichomes. The perigonal elaiophores were localized at the distal part of the inner tepals in species of *Cypella*, *Onira* and *Kelissa*. In *Herbertia* spp., elaiophores are situated in proximal part of the inner and outer tepals. The histochemical test in elaiophores at pre-anthesis shows a blister of accumulated secretion in the large subcuticular space at the tip of the trichomes. At anthesis, a noticeable decrease in the stain intensity was observed within subcuticular space, whereas the volume of lipids secretion increased and accumulated outside and around the trichomes without apparent rupture of their cuticle. In addition, during anatomical examination, the secretion of nectar was observed on the connective tissue of the anther in species of *Cypella* and *Onira unguiculata* (Baker) Ravenna. The presence of secretion on the anther connective tissue was not observed among the studied species of *Calydorea*, *Catila*, *Herbertia* and *Kelissa*. In *Cypella* and *Onira*, the nectary consists of a single-layered epidermis with the presence of sparse stomata and 3 to 5 layers of sub epidermal nectariferous parenchyma. The parenchyma cells of all species showed an accumulation of carbohydrates in pre-anthesis stage and the larger accumulation of carbohydrates appears to concentrate around the vascular bundles. The nectary was supplied by a single main vascular bundle contained primary elements of xylem and phloem. In *Cypella* and *Onira*, the accumulation of carbohydrates in the connective tissue of the anther in the pre-anthesis stage and the disappearance of the accumulation during the anthesis stage suggested that starch could be a source of energy for intensive metabolic processes, or indirectly a nectar sugar component.

The phylogenetic analysis demonstrated that the two main genera of Clade A, *Cypella* and *Calydorea*, are not monophyletic. The evolutionary analyses suggested that two major shifts of pollination systems occurred in this clade and the reconstruction of character optimization showed that absence of secretory structures was an ancestral condition, and that transitions occurred independently. Staminal nectaries and perigonal elaiophores evolved once at the base of the *Cypella* lineages, which include *Herbertia* and the monotypic genera *Kelissa* and *Onira*. Furthermore, *Herbertia* was characterized by the loss of the connective tissue ability to produce nectar and the only remaining specialized pollination structures are the elaiophores.

This study suggests that a bimodal pollination system, using two classes of pollinators, has evolved in Clade A of Tigridaeae, particularly in *Cypella*. This pollination strategy is unique in American taxa of Iridaceae and may have played a key role in the diversification of Tigridaeae in the southern region of South America, especially the state of Rio Grande do Sul.

# ESTRUTURA E DIVERSIDADE GENÉTICA DO GÊNERO *ANADENANTHERA* SPEG. (LEGUMINOSAE – MIMOSOIDEAE) ESTIMADAS COM MARCADORES MICROSSÁTELITES

**Thamyres Cardoso da Silveira & Luiz Orlando de Oliveira\***

\*Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Botânica (Mestrado), Viçosa, Brasil.  
[tcssilveira@gmail.com](mailto:tcssilveira@gmail.com) e [luiz.ufv@hotmail.com](mailto:luiz.ufv@hotmail.com)

O gênero *Anadenanthera* Speg. (Leguminosae–Mimosoideae) está atualmente circunscrito como duas espécies com duas variedades cada uma de acordo com Altschul 1964: *A. colubrina* (Vell.) Brenan var. *colubrina*; *A. colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul; *A. peregrina* (L.) Speg. var. *peregrina*; e *A. peregrina* var. *falcata* (Benth.) Altschul, mas já foram consideradas como quatro espécies distintas segundo a classificação de Brenan 1955: *A. colubrina* (Vell.) Brenan, *A. macrocarpa* (Benth.) Brenan, *A. peregrina* (L.) Speg. e *A. falcata* (Benth.) Speg. Espécies de *Anadenanthera* ocorrem na maioria dos núcleos disjuntos das florestas estacionais, sendo a espécie *A. colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul mais amplamente distribuída nessas áreas e, por isso, considerada como espécie modelo para estudo da história evolutiva dessas florestas. O objetivo desse estudo foi caracterizar a diversidade genética de espécies do gênero *Anadenanthera* Speg e fazer inferências filogeográficas. Doze marcadores microsatélites foram utilizados para genotipar 283 espécimes. Um conjunto de métodos complementares como estatísticas  $F$ , análise de variância molecular (AMOVA) e análise de agrupamento avaliaram a estrutura, diversidade genética e diferenciação populacional. Quatro grupos distintos para o gênero *Anadenanthera* compatíveis com a classificação de Brenan foram inferidos a partir da análise Bayesiana, da árvore de Neighbor-Joining e da análise de coordenadas principais. A diferenciação de *A. colubrina* observada com microsatélites mostra congruência parcial entre os resultados dos marcadores nucleares SSR e ITS. O valor de  $F_{ST}=0,338$  indicou que a mais alta estruturação genética estava presente entre as populações de *A. colubrina*. A maior parte da variação genética foi concentrada dentro de populações (82,95% e 69,9%). A diversidade genética em termos de riqueza alélica e heterozigidade mostraram valores mais elevados e similares nas espécies *A. macrocarpa*, *A. peregrina* e *A. falcata* em comparação ao valor particularmente baixo encontrado para a espécie *A. colubrina*. Análises de pares de  $F_{ST}$  e número médio de migrantes entre populações de cada espécie *sensu* Altschul 1964 mostraram fluxo gênico restrito entre variedades. Populações de *A. falcata* mostraram um nível surpreendente de mistura genética, resultante de eventos de migração entre as populações. A diversificação de *A. colubrina* foi provavelmente anterior à diversificação das demais espécies. A baixa diversidade em *A. colubrina* foi possivelmente consequência da sua distribuição mais restrita e da elevada endogamia. A miscigenação das populações de *A. falcata* refletiu um cenário de expansão recente para essa espécie. Os resultados sugerem que a circunscrição das espécies de *Anadenanthera* proposta por Brenan é a mais adequada.

# O GÊNERO *SOLANUM* L. (SOLANACEAE) NA FLORESTA ATLÂNTICA AO NORTE DO RIO SÃO FRANCISCO

**Valéria da Silva Sampaio & Maria de Fátima Agra\***

\*Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (Mestrado), Recife, Brasil.

[valeriasampaio@gmail.com](mailto:valeriasampaio@gmail.com) e [agramf@lftf.ufpb.br](mailto:agramf@lftf.ufpb.br)

*Solanum* L. é o gênero mais representativo da família Solanaceae, com cerca de 1500 espécies nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. No Brasil, ocorrem 268 espécies, e aproximadamente 130 são endêmicas, distribuídas em todas as regiões do País. No Nordeste do Brasil, a Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco destaca-se como uma área prioritária à conservação, rica em diversidade biológica e endemismo, situada entre os estados de Alagoas e Rio Grande do Norte. Neste trabalho realizou-se o tratamento taxonômico de *Solanum* para conhecer a diversidade e distribuição do gênero na Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco através de coletas botânicas, levantamentos, estudos morfológicos em amostras frescas e fixadas, como também em exsiccatas dos herbários EAN, HST, IPA, JPB, MAC, PEUFR, UFP e UFRN, complementados pela análise de fotos de exsiccatas e de tipos dos herbários MO, NY, P e US, com o apoio da bibliografia especializada. Além disso, foram realizadas análises anatômicas dos caracteres epidérmicos e ultra-estruturais foliares de seis espécies de *Solanum*, seguindo as técnicas usuais, analisadas ao microscópio óptico e também em microscópio eletrônico de varredura, fornecendo subsídios à identificação taxonômica. Dessa forma, o presente trabalho permitiu reconhecer 30 espécies, encontradas nos diferentes tipos de fitofisionomias. Uma nova espécie está sendo proposta para a área e novos registros foram encontrados. Na área estudada, *Solanum* possui cerca de 12% da diversidade de espécies registradas para o País, cuja maior diversidade e endemismos foram registradas para Alagoas, Pernambuco e Paraíba. Na anatomia foliar, os caracteres epidérmicos foliares e seus anexos, principalmente a morfologia dos tricomas, foram relevantes na distinção das espécies estudadas.

# ESTUDOS ECOLÓGICOS E EVOLUTIVOS EM MYRTACEAE COM ÊNFASE NOS PADRÕES FENOLÓGICOS, DE DISTRIBUIÇÃO E DIVERSIDADE

**Vanessa Grazielle Staggemeier, Eve Lucas  
e José Alexandre Felizola Diniz-Filho\***

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução (Doutorado),  
Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiás, Brasil.

[v.staggemeier@gmail.com](mailto:v.staggemeier@gmail.com), [jafdinizfilho@gmail.com](mailto:jafdinizfilho@gmail.com)

A região Neotropical abriga cerca de 30% de toda a diversidade de plantas do globo. Entretanto, é observado um acelerado declínio no número de espécies nessa região. O conhecimento efetivo dos padrões de distribuição espacial e ecologia das espécies, e dos processos envolvidos em sua origem e manutenção, são vitais para estabelecer programas mais eficientes de conservação. Nessa direção, essa tese combina os recentes avanços na taxonomia e filogenia de Myrtaceae a uma ampla análise da distribuição e fenologia para testar hipóteses sobre os gatilhos da reprodução do grupo e mecanismos que promovem e mantêm sua diversidade. Nosso objetivo principal foi analisar aspectos pouco estudados da família com um enfoque ecológico e evolutivo. Nós demonstramos a importância de Myrtaceae em sustentar os frugívoros via produção de frutos carnosos em uma ilha continental no sudeste do Brasil. A oferta de frutos estudada ao longo de 2 anos varia no tempo e a diversidade de espécies da família é espelhada na diversidade funcional de recursos oferecidos. Myrtaceae foi importante em sustentar diferentes guildas de animais ao longo do ano pela ampla variedade morfológica e temporal exibida. Ao estudar três comunidades de Floresta Atlântica (Ubatuba, Cananéia e Sete Barras – estado de São Paulo), encontramos padrões gerais onde a floração de Myrtaceae no verão está associada às variações no comprimento do dia. A frutificação não sazonal está provavelmente relacionada aos diferentes requerimentos fisiológicos das fases de germinação e estabelecimento de plântulas. Nós também demonstramos que dados fenológicos precisam ser interpretados em um contexto filogenético dado que o sinal evolutivo na fenologia é clado-específico. Nós propusemos também uma hipótese filogenética para um clado do gênero *Myrcia* sensu lato (93 taxa e cinco regiões nuclear e plastidiais amostradas), reforçando a união de dois tradicionais frágeis gêneros *Myrcia* e *Marlierea*. Adicionalmente, combinando essa hipótese filogenética aos dados geográficos de distribuição dessas espécies nós encontramos que as taxas de diversificação podem explicar padrões de diversidade dentro de um hotspot. As taxas de extinção são menores em zonas de refúgios climáticos, com a dispersão de espécies de localidades de instabilidade para as áreas de refúgio ocorrendo com alta frequência e contribuindo para a acentuada diversidade de *Myrcia* na região central do corredor do bioma (Bahia). A diversidade de Myrtaceae no Cerrado foi objeto de estudo dessa tese usando *Psidium* como modelo. Encontramos uma associação entre fisiologia, altitude e estabilidade climática explicando sua riqueza nesse bioma. Embora esteja clara a importância de Myrtaceae como componente estrutural e ecológico dos neotrópicos, ainda há muito a ser conhecido dado que novas espécies como a descrita ao fim desta tese (*Myrcia* sp. nov.) ainda estão aparecendo mesmo em regiões já estudadas como é o caso de Una no sul da Bahia.

# ASTERACEAE – FLORA E SIMILARIDADE NA ECORREGIÃO RASO DA CATARINA, BAHIA, BRASIL

**Vivian Oliveira Amorim & Hortensia Pousada Bautista\***

\*Universidade do Estado da Bahia, Programa de Pós-Graduação em  
Biodiversidade Vegetal (Mestrado), Paulo Afonso, Bahia, Brasil.

[vy\\_2209@hotmail.com](mailto:vy_2209@hotmail.com) e [hbautista@uneb.br](mailto:hbautista@uneb.br)

O Raso da Catarina é uma das oito ecorregiões que compõe o bioma Caatinga. Abrange os estados da Bahia e Pernambuco e é delimitada pela bacia sedimentar Tucano-Jatobá. Na porção Sul dessa ecorregião (Bahia) encontram-se as unidades de conservação APA Serra Branca, Estação Biológica de Canudos, Estação Ecológica Raso da Catarina, Parque Estadual de Canudos e RPPN Flor de Lis. É reconhecida por ser uma das áreas mais conservadas do bioma e por abrigar uma grande diversidade biológica.

Asteraceae é uma das famílias mais diversas na flora baiana. Na Caatinga, frequentemente ocupa o 12º lugar em biodiversidade, onde são reconhecidas 271 espécies e 108 gêneros. Diante da importância de elucidar e levantar questionamentos a respeito da Caatinga, o presente trabalho teve como principal objetivo realizar o estudo taxonômico de Asteraceae na ecorregião Raso da Catarina e analisar a similaridade e as relações ambientais com outras áreas da Caatinga.

Nesse sentido, a partir de evidências florísticas com Asteraceae, têm-se as seguintes questões: 1) Qual é a flora de Asteraceae representada na ecorregião Raso da Catarina? 2) As fitofisionomias da Caatinga possuem composição de Asteraceae características? 3) O substrato na Caatinga é um fator determinante para composição da flora de Asteraceae? 4) Há correlação entre proximidade geográfica e variáveis ambientais com a distribuição de espécies na Caatinga? 5) Entre as diferentes fisionomias da Caatinga, quais são as mais similares com a vegetação da ecorregião Raso da Catarina?

Para o estudo taxonômico foi realizado o levantamento das espécies através de expedições mensais a campo no período de abril de 2012 a agosto de 2013 e visita as coleções botânicas dos herbários ALCB, BAH, CEPEC, HRB, HUEFS e HUNEB. Para o estudo de similaridade, foram selecionadas 20 áreas inventariadas no domínio da Caatinga, as análises estatísticas foram realizadas nos programas Fitopac 2.1 e BioEstat 5.3.

Foram catalogadas para ecorregião Raso da Catarina 52 espécies, 41 gêneros e 14 tribos. A diversidade local de Asteraceae está representada pelas tribos: Vernonieae (11 spp.), Heliantheae (10 spp.), Eupatorieae (9 spp.), Tageteae (5 spp.), Astereae (4 spp.), Senecioneae (3 spp.), Gnaphalieae (2 spp.), Millerieae (2 spp.), Cichorieae (1 spp.), Coriopsidae (1 spp.), Gochnatieae (1 spp.), Inuleae (1 spp.), Nassauvieae (1 spp.) e Neurolaene (1 spp.).

Em cada grupo ou subgrupo do dendrograma gerado no estudo de similaridade foram identificadas espécies típicas que podem ser utilizadas para caracterizar as diferentes fitofisionomias da Caatinga. A análise de agrupamento resultou na formação de quatro grupos distintos. O grupo (A) representando a caatinga sobre predomínio de substrato cristalino. O grupo (B1) reunindo os brejos de altitude sobre predomínio de substrato sedimentar. O grupo (B2) agrupando as áreas de caatinga



sobre predomínio de substrato sedimentar. E o grupo (C) associando o Carrasco sobre predomínio de substrato sedimentar. O dendrograma não apontou duas floras distintas de Asteraceae na Caatinga, com espécies exclusivas de solos derivados do embasamento cristalino ou de superfícies sedimentares, como foi registrado para Leguminosae.

A flora de Asteraceae da ecorregião Raso da Catarina apresenta maior similaridade com a flora de Buíque (Pernambuco), uma área de caatinga sobre sedimento arenoso, e com a Floresta Estacional Semidecidual Montana (Pernambuco e Paraíba). Esta similitude deve-se principalmente às áreas de contato Cerrado/Caatinga e Cerrado/Caatinga/Floresta Estacional registradas em Jeremoabo e Paulo Afonso. Em Buíque, encontram-se ainda áreas de Floresta Estacional Semidecidual Montana e Cerrado.

Os resultados apontaram que a similaridade florística diminui com o aumento das distâncias geográficas. Assim os mecanismos que geram diferenças nos padrões de composição das espécies de Asteraceae na Caatinga estão provavelmente ligados à capacidade de dispersão dos indivíduos. Na análise das variáveis ambientais, os dados mostraram que a temperatura apresentou maior influência na distribuição das espécies na caatinga *sensu stricto*, a precipitação foi a variável determinante para as áreas de carrasco e a altitude para os brejos de altitude. A precipitação foi à única variável que apresentou correlação significativa na distribuição das espécies nas áreas selecionadas.

# ISLAND BIOGEOGRAPHY REWRITTEN BY BRYOPHYTES

**Alain Vanderpoorten & Jairo Patiño**

University of Liège, Institute of Botany, Liège, Belgium.

[a.vanderpoorten@ulg.ac.be](mailto:a.vanderpoorten@ulg.ac.be)

## Introduction

Island biogeography has historically been and remains an area of research of prime importance for the advance of biology. It is in an island setting that Wallace (1870) and Darwin (1859) have proposed their respective theories of evolution by natural selection. It is also in this context that McArthur & Wilson (1967) described a suite of mechanisms ruling the assembling of biological communities. Oceanic islands hence appear as ideal natural laboratories, and Wallace (1902) already suggested that the understanding of evolutionary processes within the island context is the key to the understanding of the same mechanisms in the more complex continental setting.

Owing to the founder effect, insular organisms quickly differentiate from mainland ones and therefore typically display a suite of specific ecological, biological and phenotypic specificities, such as shifts in sexual systems towards self-compatibility (Baker's Law) and the loss of dispersal power, altogether known as the island syndromes (Whittaker & Fernandez-Palacios 2007). While oceanic islands, due to the combined effect of geographic isolation promoting allopatric speciation, and environmental heterogeneity coupled with relaxed biotic interactions promoting sympatric speciation, harbour unparalleled rates of endemism, they have also, paradoxically, been traditionally perceived as evolutionary dead-ends (Whittaker & Fernandez-Palacios 2007).

Recently, however, new molecular insights into the relationships of island taxa have raised fundamental challenges to the assumptions underpinning existing theories of island biogeography. Island biogeography is consequently undergoing a paradigm shift with the integration of historical and ecological approaches achieving transformative advancements in the field (Losos & Ricklefs 2009). In particular, Bellemain & Ricklefs (2008) emphasized 'the importance of considering reverse colonization for interpreting biogeographic patterns' and highlighted 'the significance that reverse colonization might have for ecological theory in general'. This might be especially true for organisms that are assumed to display a relatively high dispersal power and, in particular, for spore-producing plants. Based on a review of previous (Hutsemékers *et al.* 2011; Laenen *et al.* 2011; Patiño *et al.* 2013) and ongoing studies of experimental biology, ecological modelling, and population genetics in island bryophytes, we address here the question of whether the islands syndromes apply to vagile organisms and whether this leads to a complete shift of paradigm in island biogeography in such organisms.

## The island syndromes in bryophytes

Significant differences in life history traits (LHTs) were reported between continental and oceanic island bryophyte floras (Patiño *et al.* 2013). This observation does not challenge the well-suppor-

ted notion that bryophytes are able of long-distance dispersal (LDD), but suggests, that migration rates between oceanic islands and continents are not sufficient to prevent the effects of genetic drift.

First, the proportion of unisexual bryophyte species is significantly higher on islands than on continents, suggesting that Baker's law applies to bryophytes. This pattern may, however, not result from in-situ selection for selfing but rather the fact that, because bisexual species produce spores more frequently than unisexual ones, their potential for LDD and oceanic island colonization is therefore higher than that of unisexual species.

Second, the proportion of species producing specialized asexual diaspores is higher on islands than on continents, while a significantly higher proportion of species fail to produce sporophytes on islands than on continents. Significantly higher linkage disequilibrium between loci in island than in continental populations further point to a shift in mating system towards increased clonality (Hutsemékers *et al.* 2011). Since, in bryophytes, spores and asexual diaspores are assumed to play complementary roles and are involved in LDD and short-distance dispersal, respectively, this suggests at first site that island bryophytes indeed lose LDD capacity.

While a clear pattern of decrease in sexual reproduction and increase in asexual propagation emerges from the analysis of LHTs in oceanic island bryophytes, approximately 50% of the species, however, still produce sporophytes. In species that are fertile in Madeira and the Canary Islands, the density of fertile shoots per surface unit was even higher on islands than on the continent. Altogether, these observations suggest that a substantial proportion of species maintain the potential for LDD on oceanic islands. In fact, migration rates from and towards the Macaronesian islands derived from population genetic estimators were balanced in the moss *Rhynchostegium riparioides* (Hutsemékers *et al.* 2011). European populations of the liverwort *Radula lindenbergiana* were shown to derive from Macaronesian ancestors (Laenen *et al.* 2011). Macaronesia, with its comparatively stable climate and larger area size during the last glacial periods (Fernández-Palacios *et al.* 2011), was hence identified as a refugium where bryophyte species exhibit higher genetic diversity than on the continent (Freitas & Brehm 2001; Laenen *et al.* 2011). Altogether, these observations support mounting evidence that oceanic islands are not necessarily the 'end of the colonization road' (Bellemain & Ricklefs 2008; Harbaugh *et al.* 2009; Fernández-Mazuecos & Vargas 2011), but instead increasingly appear as reservoirs for continental floras. The maintenance of strong dispersal ability in island bryophytes has several important implications. First, such a strong genetic connectivity with the continent hampers genetic isolation. This might explain the very low rate of endemism displayed by bryophytes (Patiño *et al.* 2014). A second implication of the maintenance of a high dispersal power on islands and, in particular, of high rates of continental back-colonisation, is that islands, which experienced a buffered climate during the glaciations, may actually serve as refugia, or even, sources of biodiversity for continents.

## Oceanic islands are a source of biodiversity for continents

To determine the role of oceanic islands in the biogeographic history of bryophyte floras, we compared the genetic structure and diversity of continental and island populations with those expected under three scenarios, according to which (i) island populations derive from continental ones, in agreement with the island biogeography theory (ii) migrations between islands and continents are dynamic and balanced, and (iii) species originate on islands and then colonize continents. SDMs. Although ecological niche models built from species distributions under extant climate conditions and projected onto paleoclimatic layers suggested that the potential population sizes at the last glacial maximum on continent were substantially larger than that on islands, genetic diversity on islands was consistently and substantially higher on islands than on continents. This points to a recent origin of



continental populations. Using an approximate Bayesian computation framework, we demonstrate that the observed patterns of genetic structure and diversity are consistently more similar with those derived from simulated data that fit with the island speciation scenario than with the two other ones. Our results therefore reinforce the notion that oceanic islands are speciation machines but, in sharp contrast with the oceanic island theory, indicate that they are a source of biodiversity for continental areas. These findings are of tremendous relevance for conservation. Whilst conservation efforts have traditionally focused on the endemic element indeed, the results presented here show that the non-endemic element is of prime importance for the evolution of continental biodiversity in the cryptogamic flora, and hence, should be taken into account in conservation planning.

## References

- Bellemain, E. & Ricklefs, R.E. 2008. Are islands the end of the colonization road? **Trends in Ecology and Evolution** **23**: 536-537.
- Darwin, C.R. 1859. **On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life**. London, J. Murray.
- Fernández-Mazuecos, M. & Vargas, P. 2011. Genetically depauperate in the continent but rich in oceanic islands: *Cistus monspeliensis* (Cistaceae) in the Canary Islands. **Plos One** **6**: e17172.
- Fernández-Palacios, J.M.; De Nascimento, L.; Otto, R.; Delgado, J.D.; Garcíá-del-Rey, E.; Arévalo, J.R. & Whittaker, R.J. 2011. A reconstruction of Palaeo-Macaronesia, with particular reference to the long-term biogeography of the Atlantic island laurel forests. **Journal of Biogeography** **38**: 226-248.
- Freitas, A. & Brehm, H. 2001. Genetic diversity of the Macaronesian leafy liverwort *Porella canariensis* inferred from RAPD markers. **Journal of Heredity** **92**: 339-345.
- Harbaugh, D.T.; Wagner, W.L.; Allan, G.J. & Zimmer, E.A. 2009. The Hawaiian Archipelago is a stepping stone for dispersal in the Pacific: an example from the plant genus *Melicope* (Rutaceae). **Journal of Biogeography** **36**: 230-241.
- Hutsemekers, V.; Shaw, A.J.; Szvoveyi, P.; Gonzalez-Mancebo, J.M.; Munoz, J. & Vanderpoorten, A. 2011. Islands are not sinks of biodiversity in spore-producing plants. **PNAS** **108**: 18989-18994.
- Laenen, B.; Désamoré, A.; Devos, N.; Shaw, A.J.; Carine, M.A.; Gonzalez-Mancebo, J.M. & Vanderpoorten, A. 2011. Macaronesia: a source of hidden genetic diversity for post-glacial recolonization of western Europe in the leafy liverwort *Radula lindenbergiana*. **Journal of Biogeography** **38**: 631-639.
- Losos, J.B. & Ricklefs, R.E. 2009. Adaptation and diversification on islands. **Nature** **457**: 830-836.
- McArthur, R.H. & Wilson, E.O. 1967. **The Theory of Island Biogeography**. Princeton, Princeton University Press.
- Patiño, J.; Bisang, I.; Hedenäs, L.; Dirkse, G.; Bjarnason, A.H.; Ah-Peng, C. & Vanderpoorten, A. 2013. Baker's law and the island syndromes in bryophytes. **Journal of Ecology** **101**: 1245-1255.
- Patiño, J.; Carine, M.A.; Fernández-Palacios, J.M.; Otto, R.; Schaefer, H. & Vanderpoorten, A. 2014. The anagenetic world of the spore-producing plants. **New Phytologist** **201**: 305-311.
- Wallace, A.R. 1870. **Contributions to the Theory of Natural Selection**. London, Macmillan.
- Wallace, A.R. 1902. **Island Life**, 3d ed. London, Macmillan.
- Whittaker, R.J. & Fernández-Palacios, J.M. 2007. **Island biogeography. Ecology, evolution and conservation**. Oxford, Oxford University Press.

# TRENDS IN NEOTROPICAL BRYOGEOGRAPHY

**Claudio Delgadillo Moya**

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Departamento de Botánica, México, D.F.  
[moya@unam.mx](mailto:moya@unam.mx)

A diverse bryophyte flora occurs in the tropical areas of the New World. Estimates indicate that there are about 2600 moss species, 1350 liverworts, and 30 hornworts (Gradstein *et al.* 2001), but other numbers have also been put forth. Latmoss 2013 (Delgadillo 2014), for instance, lists 3241 moss records for the Neotropical countries, but with little effort to compensate for superfluous names published in the late 1800s and early 1900s (cf. Churchill *et al.* 1995, 2009). Despite the need for a critical review of numbers and specific concepts, with the publication of various floristic and taxonomic treatments, the Neotropics is one of the best known tropical regions in the world.

Current knowledge of the tropical American bryoflora may now be used to evaluate hypotheses on its origin, history, and distribution. Some bryologists have already provided data in one or more of these fields, and their contributions may be examined for trends in regional bryophyte distribution. Discussion may apply to all groups of bryophytes, but for convenience, I make special reference to mosses.


## Collections and Publications

Gradstein *et al.* (2001) list important herbaria and various floristic manuals and other publications pertinent to Neotropical bryophytes. Among the herbaria with important bryophyte collections, those in Bolivia, Brazil, Colombia, Mexico, and Panama seem to have the most important regional holdings and have active bryologists on their staff. With respect to significant publications, those by Bischler *et al.* (2005), Churchill *et al.* (2009), Costa (2008), Dauphin (2003), Gradstein & Costa (2003), Gradstein & Ilkiu-Borges (2009), Hedenäs (2003), and Pursell (2007), among others, are additions not previously listed elsewhere.

The floristic information contained in these publications may be the basis for a more accurate number of bryophyte species per geographical area in the Neotropics. To be sure, for mosses, data in Latmoss 2013 record 987 species for the northern Neotropics (Mexico), 713 for the West Indies, 1094 for Central America, and 2593 species for South America. Although, as indicated above, there is an overestimate for South American countries, these figures may still reflect the relative diversity of mosses in various parts of the region. Thus, the next step would require the revision of problematic taxa, general nomenclatural update, and the review of regional floras following a scheme not based on political boundaries. The resulting catalogues would be useful for conservation, ecological evaluations such as the effect of barriers, and the review of endemism and other historical aspects of the evolution of Neotropical floras. Progress is already evident along some of these lines.

## History

Several authors, including myself, have expressed ideas about the events that gave mosses to their current ranges, but it was Bartram (1949) one of the first to attempt an understanding of the



Guatemalan moss flora and its temperate and tropical relationships. Crum (1951) studied the entire Mexican moss flora to identify its temperate elements, and discussed the relationships with the flora of eastern United States; he explained certain patterns of distribution by common origin and age of a group. Furthermore, he suggested that long-distance dispersal and migration and certain geological events are responsible for shared floras between those areas. Delgadillo (1971, 1985, 1987) proposed that the mountains of eastern and western Mexico served as connecting floristic pathways to the north and south, particularly at the higher elevations; he discussed floristic elements as they relate to the history of the flora in the Neovolcanic Belt of central Mexico.

We have learned much about the history of the flora from the distribution of South American liverworts. Gradstein *et al.* (1987), for instance, have discussed the presence of temperate liverwort species in the flora of tropical American mountains that may also appear as disjunct in other tropical areas of the world (Gradstein *et al.* 1983). Other world patterns of distribution have been examined by Schuster (1983), including those of endemic taxa. Besides continental drift and migration, speciation was also invoked to explain the presence of related taxa on both sides of the Atlantic. Geological events have served to give approximate time of establishment of organisms, but other potential explanations using modern techniques or equipment have been already attempted. B.O. van Zanten's experiments on long range dispersal of southern bryophytes are well known; one publication on Neotropical liverworts (Zanten & Gradstein 1988) illustrates studies already made for regional bryophytes. These involved drought tolerance, frost tolerance, resistance to UV radiation of spores in the laboratory and on-flight transport on devices placed on wing tips of airplanes.

The studies mentioned above are dependent on sound taxonomic evaluations and a broad knowledge of species distribution patterns. For the Neotropics we require further information on floristic similarities with other continents and studies on regional wind patterns. The expected trend would be to complete and update the catalogues for each Neotropical country.

## Broad geographical patterns

Various publications have explored the distribution patterns in the bryophyte flora of Neotropical countries. Several concern themselves with the patterns observed in island areas, for instance, in the West Indies. Crosby (1969) detected groups of species shared between islands and continental areas, pantropical, and endemic taxa. His conclusions were offered at a time when there was little information on the West Indian moss flora and have been re-evaluated with data from several sources, most notably Buck's (1998) flora. The values of endemism are continuously adjusted with new information from recent exploration in the West Indies and in the continent; a more recent contribution reduced the endemism values to about 14% (Delgadillo 1993a) where individual islands or island groups did not reach 7% endemism (Delgadillo 1994).

The distribution patterns have been discussed in detail for certain areas. Gradstein and Weber (1982) recognized seven geographical elements for the Galapagos Islands; according to them the tropical Andean liverworts are virtually absent there, but the Caribbean and Neotropical elements are well represented in the Galapagos flora. On a continental scale, Gradstein *et al.* (1989) have observed similar elements in the mountains of Colombia with the addition of the temperate and the Andean species.

In the Guianas, Gradstein *et al.* (1990) refer to phytogeographic elements that show peculiar patterns of distribution such as the Guyana Highlands element and the Amazonian elements linked to those geographical features. As for other continental areas, the elements cited by Delgadillo (1971) seem to be the general rule in Mexico; the proportion of species per element changes with area or climate and vegetation, but most may be recognized in other continental situations. Except for the alpine areas, the endemic element is poorly represented in most vegetation areas throughout Mexico.

The investigation of floristic elements has not proceeded at the same rate in all Neotropical countries, but may be inferred from publications such as those by Delgadillo (1993b, 2003) or from data in Latmoss 2013 (Delgadillo 2014). An overall review of the floristic elements in tropical America does not exist and should be highly informative. However, the local, national or regional studies should also unveil peculiar patterns or general trends in the distribution and history of the bryophyte flora.

## Floristic provinces

Global patterns exhibited by bryophytes were introduced by Herzog (1926) through the understanding of systematics and the distribution of bryophyte families (cf. Watson 1973). He produced a scheme with five floristic realms of the world citing numerous generic and specific examples. Several authors have also reviewed and commented on Herzog's scheme incorporating a better definition of taxonomic concepts that appeared during the XX century. Schofield (1992) recognized six kingdoms based on floristic similarity and endemism. More recently Tan and Pócs (2000) commented on the bryogeographic regions of the world citing examples of genera endemic and other features. They used and cited the world regional division published by Index Muscorum (Wijk *et al.* 1959-1969) to provide a framework for the catalogue of moss names. In my opinion, although not entirely foreign to geographical distribution patterns, Wijk's *et al.* map was not intended as a phytogeographic aid and, in fact, they gave no indication in the original edition as to how it was prepared.

All schemes recognize the uniqueness of the New World tropical bryophyte flora, thus the floristic kingdom is designated as the Neotropical kingdom. It represents a complex topographic, climatic, and geological region that contains numerous endemic taxa among liverworts and mosses. Their history and relationships have been discussed in a large number of publications, but it is still far from being completely characterized. Bryophyte adaptations, history, and distribution deserve many years of study.

## Dispersal

A discussion on the patterns of distribution involves must seek cause and interpretation of those patterns. Such articles as Schuster's (1983) and others cited under "History" offered explanations about the observed distribution, mainly of the Neotropical liverworts, but hypotheses have also been proposed for the tropical American mosses. Besides geological events such as glaciation and continental drift, bryologists have suggested long-distance dispersal as the probable cause of present-day discontinuous or disjunct patterns. However, little experimental evidence has been provided for the patterns exhibited by the Neotropical bryophytes. Experiments by Zanten and collaborators (Zanten & Pócs 1981; Zanten & Gradstein 1988) have been mentioned in connection with the survival of spores of tropical bryophytes during intercontinental transportation. Preliminary wind-tunnel studies on spore release in mosses were conducted by Delgadillo (Delgadillo & Pérez Bandín 1982) as a preamble to explain their dispersal across mountain ranges in Mexico. Most unfortunately, these experiments were discontinued and the relative value of sporophyte structures for dispersal remained untested.

According to Crum (1951: 5) and Tan and Pócs (2000: 405), the distribution patterns can help to understand the origin and evolution of a flora. To follow this piece of advice in the Neotropical region, bryologists there must complete each national bryophyte catalogue, review the taxonomic status of major groups, search for patterns in the distribution of local bryophytes, and provide experimental evidence, when appropriate, for each pattern. New technologies are being incorporated, e.g., in predicting the potential distribution of bryophytes (cf. Barros *et al.* 2012; Delgadillo *et al.* 2012), but others such as the molecular studies are gaining acceptance (e.g., Câmara & Shaw 2013) that may be the basis for detailed phytogeographic interpretations.

## References

- Barros, F.S.M.; Ferreira de Siqueira, M. & Costa, D.P. 2012. Modeling the potential geographic distribution of five species of *Metzgeria* Raddi in Brazil, aiming at their conservation. **Bryologist** **115**: 341-349.
- Bartram, E.B. 1949. Mosses of Guatemala. **Fieldiana, Bot.** **25**: 1-442.
- Bischler-Cause, H.; Gradstein, S.R. & Jovet-Ast, S.; Long, D.G. & Salazar-Allen, N. 2005. Marchantiidae. **Flora Neotropica Moograph** **97**: 1-262.
- Buck, W.R. 1998. Pleurocarpous mosses of the West Indies. **Memoirs of the New York Botanical Garden** **82**: 1-400.
- Câmara, P.E.A.S. & Shaw, J. 2013. A molecular phylogeny of the moss genus *Taxithelium* (Pylaisiadelphaceae) based on plastid, mitochondrial and nuclear markers. **Systematic Botany** **38**: 861-868.
- Churchill, S.P.; Griffin III, D. & Lewis, M. 1995. Moss diversity of the tropical Andes. Pp. 335-346. In: Churchill, S.P.; Balslev, H.; Forero, E. & J.L. Luteyn (Eds.). **Biodiversity and conservation of Neotropical Montane Forests**. New York, New York Botanical Garden.
- Churchill, S.P.; Sanjines, N.N. & Aldana, C. 2009. Catálogo de las briofitas de Bolivia: Diversidad, distribución y ecología. Saint Louis, Missouri Botanical Garden.
- Crosby, M.R. 1969. Distribution patterns of West Indian mosses. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **56**: 409-416.
- Crum, H.A. 1951. The Appalachian-Ozarkian element in the moss flora of Mexico with a check-list of all known Mexican mosses. Ph. D. Dissertation. University of Michigan.
- Dauphin, G. 2003. *Ceratolejeunea*. **Flora Neotropica Monograph** **90**: 1-86.
- Delgadillo M., C. 1971. Phytogeographic studies on alpine mosses of Mexico. **Bryologist** **74**: 331-346.
- Delgadillo M., C. & Pérez-Bandín, E. 1982. Spore liberation in mosses. I. Problems and perspectives of wind tunnel experiments. **Cryptogamie, Bryologie et Lichénologie** **3**: 39-49.
- Delgadillo M., C. 1985. The Neovolcanic Belt of Mexico as a barrier and route of migration for mosses. **Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden** **11**: 41-44.
- Delgadillo M., C. 1987. Moss distribution and the phytogeographical significance of the Neovolcanic Belt of Mexico. **Journal of Biogeography** **14**: 69-78.
- Delgadillo M., C. 1993a. The Antillean Arc and the distribution of neotropical mosses. **Tropical Bryology** **7**: 7-12.
- Delgadillo M., C. 1993b. The Neotropical-African moss disjunction. **Bryologist** **96**: 604-615.
- Delgadillo M., C. 1994. Endemism in the Neotropical moss flora. **Biotropica** **26**: 12-16.
- Delgadillo M., C. 2003. Patrones biogeográficos de los musgos de México. Pp. 195-198. In: Morrone, J.J. & J.L. Bousquets (Eds.). Una perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía. México, CONABIO.
- Delgadillo M., C. 2014. Latmoss 2013. Available from: <http://www.ibiologia.unam.mx/briologia/www/index/latmoss.html>. Cited 2014 Apr 10.
- Delgadillo M., C.; Villaseñor, J.L. & Ortiz, E. 2012. The potential distribution of *Grimmia* (Grimmiaceae) in Mexico. **Bryologist** **115**: 12-22.
- Gradstein, S.R. & Weber, W.A. 1982. Bryogeography of the Galapagos Islands. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory** **52**: 127-152.
- Gradstein, S.R.; Pócs, T. & Váňa, J. 1983. Disjunct Hepaticae in tropical America and Africa. **Acta Botanica Hungarica** **29**: 127-171.
- Gradstein, S.R. & Váňa, J. 1987. On the occurrence of Laurasian liverworts in the tropics. **Memoirs of the New York Botanical Garden** **45**: 388-425.
- Gradstein, S.R.; van Reenen, G.B.A. & Griffin III, D. 1989. Species richness and origin of the bryophyte flora of the Colombian Andes. **Acta Botanica Neerlandica** **38**: 439-448.

- Gradstein, S.R.; Montfoort, D. & Cornelissen, J.H.C. 1990. Species richness and phytogeography of the bryophyte flora of the Guianas, with special reference to the lowland forest. **Tropical Bryology 2**: 117-126.
- Gradstein, S.R.; Churchill, S.P. & Salazar-Allen, N. 2001. Guide to the bryophytes of tropical America. **Memoirs of the New York Botanical Garden 86**: 1-577.
- Gradstein, S.R. & Costa, D.P. 2003. The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil. **Memoirs of the New York Botanical Garden 87**: 1-318.
- Gradstein, S.R. & Ilkiu-Borges, A.L. 2009. Guide to the plants of Central French Guiana. Part 4. Liverworts and hornworts. **Memoirs of the New York Botanical Garden 76**: 1-140.
- Hedenäs, L. 2003. Amblystegiaceae (Musci). **Flora Neotropica Monograph 89**: 1-107.
- Pursell, R.A. 2007. Fissidentaceae. **Flora Neotropica Monograph 101**: 1-278.
- Schofield, W.B. 1992. Bryophyte distribution patterns. Pp. 103-130. In: Bates, J.W. & A.M. Farmer (Eds.). **Bryophytes and lichens in a changing environment**. Oxford, Clarendon Press.
- Schuster, R.M. 1983. Phytogeography of the Bryophyta. Pp. 463-626. In: R.M. Schuster (Ed.). **New Manual of Bryology**. Nichinan, The Hattori Botanical Laboratory.
- Tan, B. & Pócs, T. 2000. Bryogeography and conservation of bryophytes. Pp. 403-448. In: Shaw, A.J. & Goffinet, B. (Eds.). **Bryophyte Biology**. Cambridge, Cambridge University Press.
- Watson, E.V. 1973. Studies of bryophyte distribution since the time of E. M. Holmes: a review with emphasis on the recent literature. **Botanical Journal of the Linnean Society 67**: 33-46.
- Wijk, R. van der; Margadant, W.D. & Florschütz, P.A. 1959-1969. **Index Muscorum**. International Bureau for Plant Taxonomy and Nomenclature. Utrecht. 5 vols.
- Zanten, B.O. van & Pócs, T. 1981. Distribution and dispersal of bryophytes. **Advances in Bryology 1**: 479-561.
- Zanten, B.O. van & Gradstein, S.R. 1988. Experimental dispersal geography of Neotropical liverworts. **Beiheft zur Nova Hedwigia 90**: 41-94.

# PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE BRIÓFITAS NA FLORESTA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL: RELAÇÕES AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO

**Mércia Patrícia Pereira Silva<sup>1</sup> & Kátia Cavalcanti Pôrto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Departamento de Botânica, Laboratório de Taxonomia de Briófitas, Salvador, BA, Brasil.

[merciapps@ufba.br](mailto:merciapps@ufba.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Botânica, Laboratório Biologia de Briófitas, Recife, PE, Brasil.

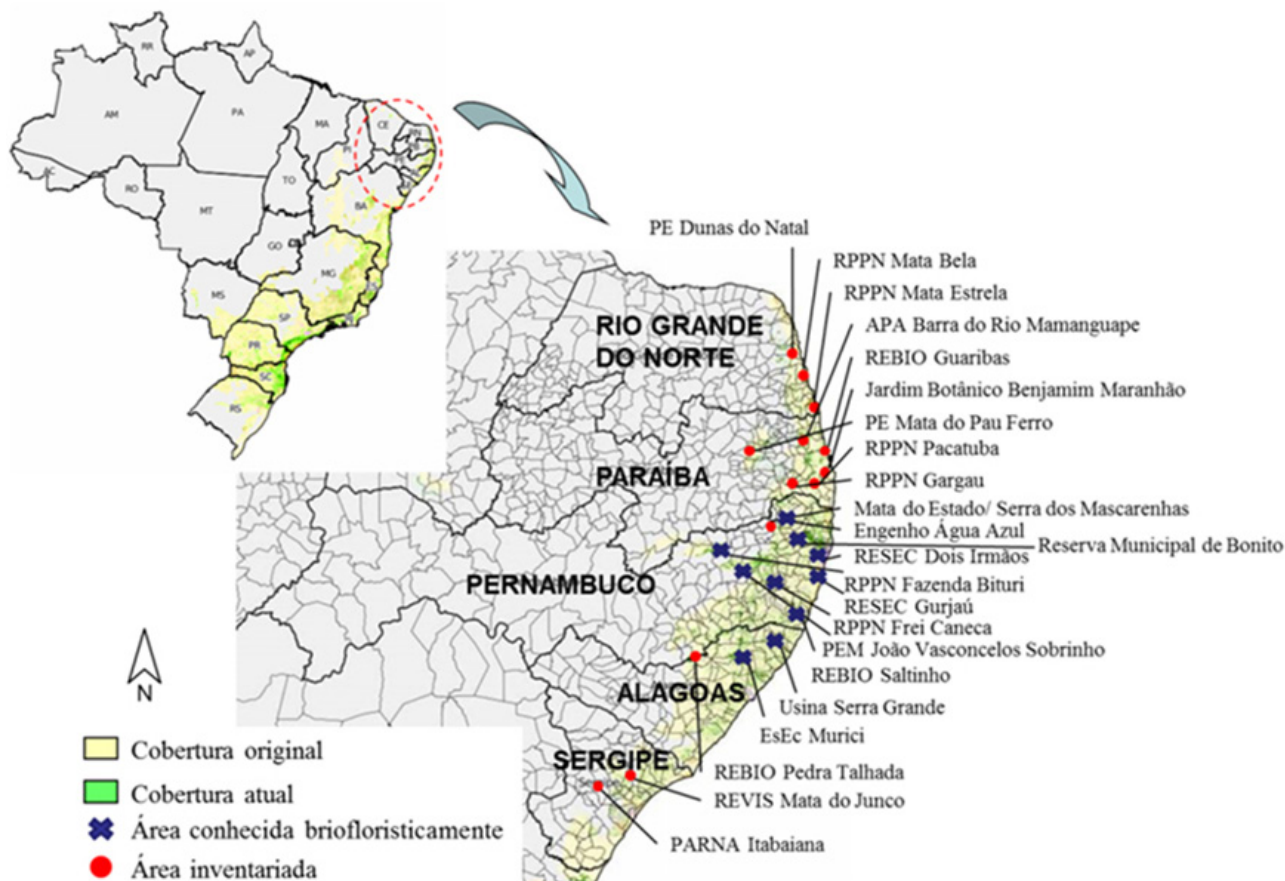
No Brasil, a Floresta Atlântica é um centro de diversidade de briófitas, chegando a abrigar mais do que o dobro (2,4 vezes) de espécies registradas para a Floresta Amazônica. Com relação aos endemismos, esse número é ainda maior: a Floresta Atlântica tem cinco vezes o número de espécies endêmicas da Floresta Amazônica (Costa 2014).

Em contrapartida, em alguns estados do Nordeste pouco se conhece sobre a brioflora. Somado a esse quadro, a porção Nordeste é uma das mais ameaçadas da Floresta Atlântica, restando menos que 2% dos seus remanescentes, com fragmentos, na maioria, de área <100ha, isolados e imersos em matrizes inóspitas (Ribeiro *et al.* 2009). Devido a essas características da Floresta Atlântica Nordestina (FAN); interpretações errôneas nos padrões de distribuição de muitas espécies podem ocorrer. Sendo assim, visando contribuir ao conhecimento da brioflora na FAN um trabalho de tese de doutorado foi realizado (Silva 2013) e nesta palestra serão apresentados os principais resultados. Foram objetivos do trabalho: 1) determinar de modo mais fidedigno os padrões de distribuição das briófitas na FAN, com a ampliação de novos inventários, sobretudo em estados com carência de exploração; 2) valorar os condicionantes de riqueza, sejam eles intrínsecos da história de vida da(s) espécie(s) ou de ordem ambiental; 3) predizer localidades potencialmente favoráveis e ainda inexploradas para a ocorrência de espécies raras ou de maior exigência e 4) e, com base nestes, indicar espécies e localidades de maior relevância para a conservação.

Para isso, um banco de dados das espécies da FAN, abrangendo os estados do Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL) e Sergipe (SE), foi construído a partir de informações de literatura, consulta a herbários e inventários brioflorísticos, perfazendo 23 localidades estudadas (Figura 1). Ademais, informações sobre a história de vida (tipo de forma de crescimento do gametófito, tamanho do esporo e tipo de sistema reprodutivo) e a ecologia (microhabitat preferencial quanto à luminosidade) das espécies foram compiladas à luz de bibliografia especializada.

## Quais os padrões de distribuição de briófitas na FAN?

Com a reunião das informações, registraram-se um total de 398 spp. (203 hepáticas, 192 musgos e três antóceros), sendo 14 endêmicas da Floresta Atlântica (nove hepáticas, quatro musgos e um



**Figura 1.** Localização dos remanescentes de Floresta Atlântica Nordestina estudados.

antóceros). Lejeuneaceae, Fissidentaceae, Calymperaceae e Sematophyllaceae foram as famílias mais representativas em número de espécies, reunindo 45% da brioflora estudada. No que tange às famílias e às demais categorias taxonômicas, a brioflora registrada corresponde aos componentes briofíticos comumente relatados em inventários no Neotrópico (Richards 1984, Gradstein & Pócs 1989).

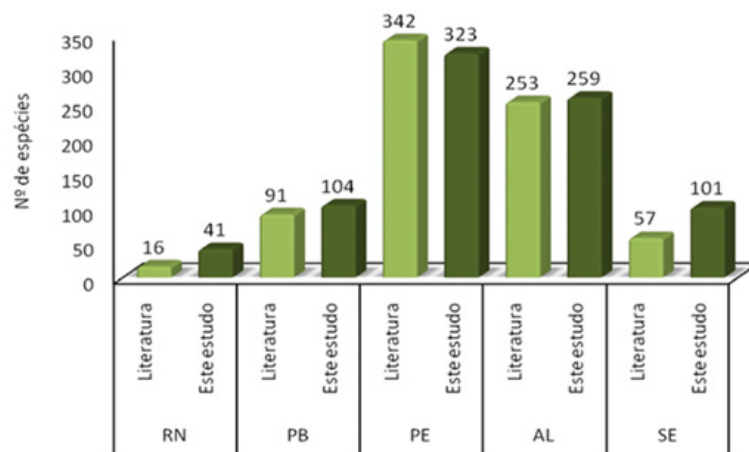
No total, a brioflora da FAN apresentou significativa expressividade, representando 26% da diversidade total de briófitas do Brasil (*sensu* Costa 2014), 10% do Neotrópico (*sensu* Gradstein *et al.* 2001) e 3% do mundo (*sensu* Goffinet & Buck 2013).

Com relação à distribuição da brioflora nos estados analisados, a maior riqueza foi registrada para PE e AL, evidenciando-os como centros de diversidade de briófitas na porção da FAN estudada. A distribuição da riqueza nos estados estudados foi: 323spp. – PE, 259spp. – AL, 104spp. – PB, 101spp. – SE e 41spp. – RN (Figura 2). Este estudo contribuiu significativamente para o aumento do conhecimento da brioflora (*sensu* Costa 2014 incluindo adendos); por exemplo, a riqueza do RN foi acrescida em 156%.

Por outro lado, vale lembrar que nessa porção da Floresta Atlântica predominaram briófitas de nicho ecológico amplo (generalistas) (164 spp. - 41%) em detrimento de espécies de nicho restrito, as especialistas de sombra (135 spp. - 34%) e as especialistas de sol (92 spp. - 23%) (7 spp. - 2% sem informação).

A dominância de generalistas é recorrente na literatura para a FAN (p.ex.: Alvarenga & Pôrto 2007; Silva & Pôrto 2013) e outras Florestas Tropicais (p.ex.: florestas submontanas da Bolívia - Acebey *et al.* 2003). Esses autores evidenciaram que as briófitas de sombra são mais suscetíveis ao desflorestamento, às vezes, ausentes em sítios degradados, enquanto as típicas de sol são medianamente afetadas e as generalistas indiferentes. Sendo assim, além da própria biologia, processos de degradação e perda de habitat recorrentes na região podem ser apontados como causa da predominância de generalistas.





**Figura 2.** Riqueza de espécies de briófitas por estado estudado na Floresta Atlântica Nordeste, segundo literatura e a contribuição deste estudo.

## Quais os fatores condicionantes da riqueza das comunidades de briófitas na FAN?

Para responder esta pergunta, inicialmente, foi testada a proximidade geográfica entre as localidades, que não foi evidenciado como um fator condicionante ( $r_M = 0.20$ ,  $p = 0.15$ ). Sendo assim, fatores determinísticos, ambientais, intrínsecos das espécies e/ou do estado de conservação, definem a estrutura das comunidades nessa região. Neste trabalho, foram testadas variáveis ambientais e intrínsecas das espécies (história de vida e ecologia).

Buscando verificar quais parâmetros ambientais, de história de vida e ecologia das espécies influenciam a sua frequência em escala regional, foram consideradas apenas as localidades inventariadas (13).

### *Fatores ambientais*

Para cada localidade estudada foram compiladas 19 variáveis bioclimáticas, extraídas do banco de dados do Worldclim (Hijmans 2005) na resolução espacial de 1 km<sup>2</sup>. Além disso, a variação altitudinal, a latitude e a longitude das localidades coletadas foram aferidas em campo com um GPS, totalizando 22 variáveis ambientais analisadas. As variáveis mais autocorrelacionadas ( $|r_s| \rightarrow 0.7$ ) foram eliminadas.

O modelo de regressão mais eficiente para a riqueza ( $R^2$  ajustado=0.91,  $F=23.7$ ,  $p < 0.001$ , Erro Padrão estimado: 9.45) evidenciou duas variáveis significativas: Variação altitudinal e Variação da temperatura média anual (Tabela 1). Por sua vez, a riqueza relativa de espécies com distribuição restrita (raras na faixa estudada – ocorrência em uma localidade e  $< 20$  assinalamentos) foi influenciada positivamente pela latitude e variação da temperatura média anual, enquanto as muito frequentes e bem distribuídas não mostraram influência com nenhuma variável ambiental estudada.

### *História de vida e ecologia*

Nenhum parâmetro de história de vida mostrou relação com a frequência local. Essas variáveis também não foram informativas para explicar os padrões de distribuições das espécies. Por outro lado, quando analisados regionalmente, espécies monoicas foram mais constantes na paisagem, i.e,

**Tabela 1.** Coeficientes de Regressão Linear Múltipla (valores de Beta e p) entre a riqueza total e a riqueza relativa de espécies raras e frequentes e as variáveis ambientais da Floresta Atlântica Nordeste. Valores em negrito indicam significância estatística.

		Variação altitudinal	Variação da temperatura	Latitude
<b>Riqueza total</b>	Beta	0.52	-0.57	0.67
	p	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	0.07
<b>Riqueza relativa - raras</b>	Beta	-	-0.64	0.82
	p	-	<b>←0.001</b>	<b>←0.001</b>
<b>Riqueza relativa - frequentes</b>	Beta	-1.23	4.80	-0.61
	p	0.21	0.11	0.67

aconteceram em um maior número de áreas, do que as dioicas. Tal fato pode estar associado a maior frequência da produção de esporófito e, conseqüentemente, de esporos, diásporos mais eficientes à dispersão à longa distância.

Espécies generalistas foram mais frequentes localmente e regionalmente, ao passo que as especialistas de sombra foram as menos representativas em ambas as escalas (Figura 3). Ademais, todas as espécies frequentes são consideradas generalistas e 40% das espécies raras, especialistas de sombra.

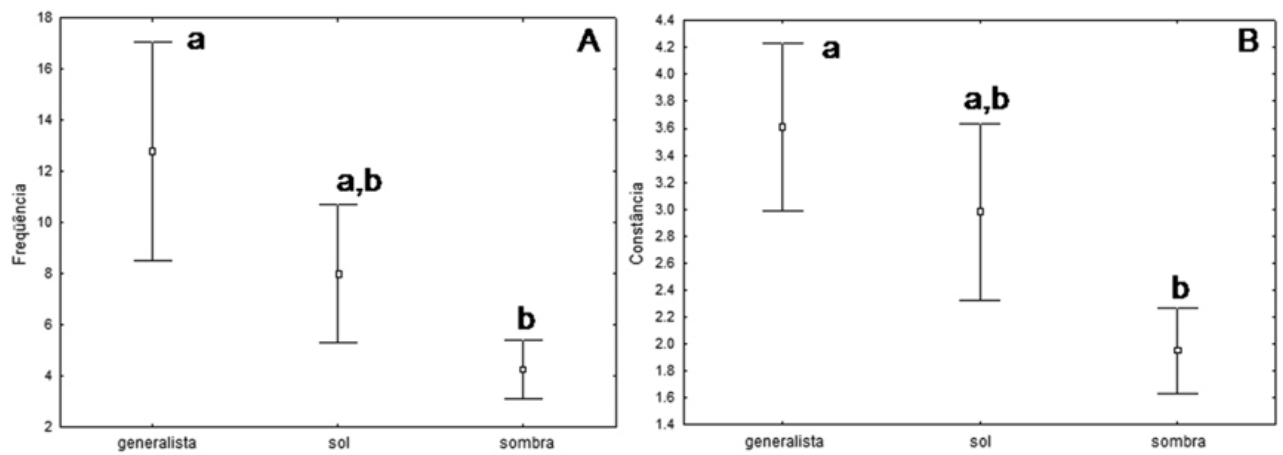
Assim, as principais condições ecológicas modeladoras dos padrões de distribuição das briófitas na porção da FAN estudada foram as seguintes: preferência de microhabitat quanto à tolerância à luminosidade (em escala regional e local), o tipo de sistema reprodutivo (regionalmente) e como parâmetros ambientais, a variação altitudinal, a latitude e a variação da temperatura média anual.

## Ainda existem lacunas de conhecimento na distribuição de briófitas na FAN? Quais as espécies e as localidades mais relevantes para a conservação na FAN?

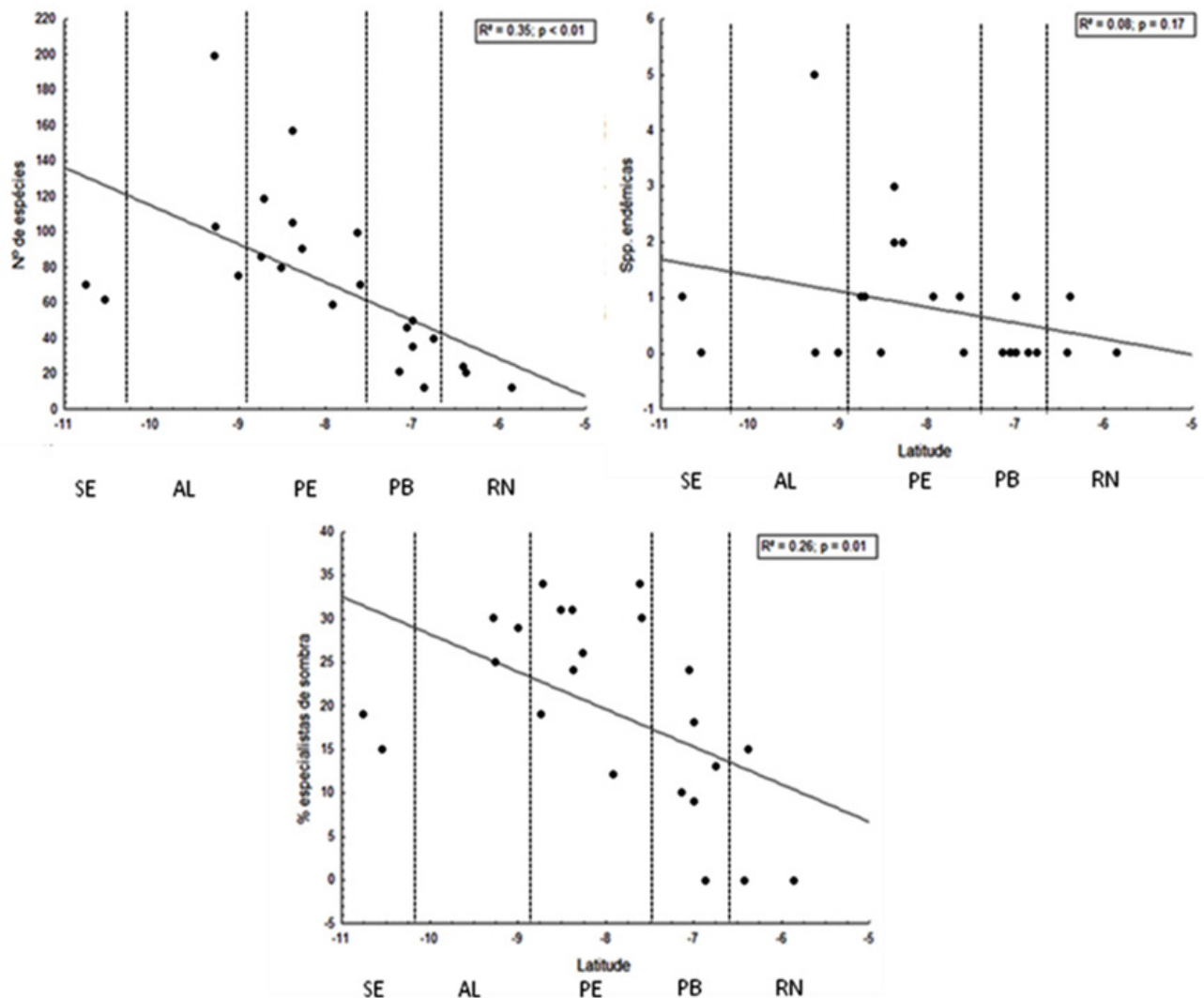
Com o objetivo de verificar lacunas de conhecimento e de proteção na Floresta Atlântica como um todo, dez espécies endêmicas do Domínio e/ou bioindicadoras (especialistas de sombra e de distribuição restrita) foram selecionadas para elaboração de modelos de distribuição potencial (Silva *et al.* 2014). Posteriormente, o modelo consenso de distribuição potencial com adequabilidade ambiental  $\geq 50\%$  foi sobreposto ao mapa atual das Unidades de Proteção Integral brasileiras (<http://mapas.mma.gov/i3geo/datadownload.htm>).

Focando os resultados na região Nordeste (incluindo o estado da Bahia), foi verificado ser o sul da Bahia um sítio com grande extensão de maior adequabilidade ambiental de ocorrência das espécies estudadas (ca. 20.000 km<sup>2</sup>). Entretanto, nesta área, existem apenas, seis Unidades de Proteção Integral (ca. 271 km<sup>2</sup>), o que cobre apenas 1,3% da área total predita para o estado. Frente a essas observações, sugere-se o sul da Bahia, dentre a FAN, como prioritária para novos inventários brioflorísticos e de potencial importância para a ampliação do número de Unidades de Conservação.

Concernente à brioflora da Floresta Atlântica na faixa RN-SE, os maiores valores quantitativos (riqueza total e número de endemismos) e qualitativos (% de espécies típicas de sombra) foram observados em PE e AL, confirmando-os como centros de diversidade na amplitude estudada (Figura 4). As localidades com maior riqueza específica e de endêmicas da Floresta Atlântica foram a Estação



**Figura 3.** Frequência local (A) e constância regional (B) médias ( $\pm$  IC) das espécies de briófitas da Floresta Atlântica Nordesteira por microhabitat de preferência quanto à tolerância à luminosidade.



**Figura 4.** Número de espécies total e endêmicas de briófitas e proporção de especialistas de sombra das localidades de Floresta Atlântica Nordesteira estudadas. Localidades em ordem crescente de latitude geográfica.

Ecológica de Murici (199spp./ 5 endêmicas) e o Parque Ecológico Municipal João Vasconcelos Sobrinho (157spp./ 3 endêmicas).


Com base no levantamento da brioflora da faixa da FAN estudada, foi possível reconhecer espécies prioritárias para a conservação. São elas:

- ▶ *Lejeunea perpapillosa* E. Reiner & Pôrto e *Ceratolejeunea atlantica* L. Alvarenga & Ilkiu-Borges – espécies de hepáticas descritas em 2007 e 2008, para os estados de PE e AL, respectivamente. Endêmicas da Floresta Atlântica, essas espécies têm distribuição atual restrita à FAN, ocorrendo, além das localidades tipos, somente na Bahia (Estação Ecológica de Wenceslau Guimarães e Reserva Ecológica de Michelin/ RPPN Estação Veracruz, respectivamente).
- ▶ *Fissidens flabellatus* Hornsch. e *Syrrhopodon brasiliensis* W.D. Reese – musgos endêmicos do Brasil que tiveram a primeira ocorrência no Nordeste registrada no RN (RPPN Mata Estrela) e SE (PARNA Itabaiana), respectivamente.

Em contraste à elevada riqueza e presença de espécies endêmicas e relevantes à conservação, corte seletivo de madeira, retirada de lenha, cultivo de cana-de-açúcar, caça de animais, captura, sobretudo de pássaros, para criação em cativeiro, e tráfico de animais silvestres (Pôrto *et al.* 2012; obs. pess.) são práticas comuns. Dessa forma, reforça-se a vital importância da FAN para a brioflora nacional e sugere-se a implementação de políticas públicas efetivas, sobretudo na Estação Ecológica de Murici e no Parque Ecológico Municipal João Vasconcelos Sobrinho e nas áreas de remanescentes florestais privados pertencentes às usinas de açúcar da região.

## Referências

- Acebey, A.; Gradstein, S.R. & Krömer, T. 2003. Species diversity and habitat diversification of epiphytic bryophytes in submontane forest and fallows in Bolivia. **Journal of Tropical Ecology** 19: 9-18.
- Alvarenga, L.D.P. & Pôrto, K.C. 2007. Patch size and isolation effects on epiphytic and epiphyllous bryophytes in the fragmented Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation** 134: 415-427.
- Campanili, M. & Pochnow, M. (Eds.). 2006. **Mata Atlântica, uma rede pela floresta**. Brasília, RMA.
- Costa, D.P. 2014. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do>. Citado em 2014 Abr 10.
- Goffinet, B. & Buck, W.R. 2013. The evolution of body form in bryophytes. Pp. 51–90. In: Ambrose, B. & M. Purugganan (Eds.). **The Evolution of Plant Form**. Wiley–Blackwell, Annual Plant Reviews.
- Gradstein, S.R. & Pócs, T. 1989. Bryophytes. Pp. 311-325. In: Lieth, H. & M.J.A. Werger (Eds.). **Tropical Rain Forest Ecosystems**. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V.
- Gradstein, S.R.; Churchill, S.P. & Salazar, A.N. 2001. Guide to the Bryophytes of Tropical America. **Memoirs of the New York Botanical Garden** 86: 1-577.
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for Global land areas. **International Journal of Climatology** 25: 1965-1978.
- Lucena, M.F.A. 2009. **Flora da Mata do Estado, São Vicente Férrer, Pernambuco, Brasil**. Relatório Técnico. Recife, Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste.
- Olmos, F. 2005. Aves ameaçadas, prioridades e políticas de conservação no Brasil. **Natureza & Conservação** 3: 21-42.
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F. & Hirota, M.M. 2009. Brazilian Atlantic forest: how much is left and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation** 142: 1141-1153.

- 
- Richards, P.W. 1984. The ecology of tropical forest bryophytes. Pp. 1233-1270. In: Schuster, R.M. (Ed.). **New Manual of Bryology**. Nichinan, The Hattori Botanical Laboratory.
- Silva, M.P.P. 2013. **Padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil: relações ambientais, biogeográficas e conservação**. Tese de doutorado. Recife, Universidade Federal de Pernambuco.
- Silva, M.P.P. & Pôrto, K.C. 2013. Bryophyte communities along horizontal and vertical gradients in a human-modified Atlantic Forest remnant. **Botany 91**: 155-166.
- Silva, M.P.P.; Kamino, L.H.Y. & Pôrto, K.C. 2014. Is the current network system of protected areas in the Atlantic Forest effective in conserving key species of bryophytes? **Tropical Conservation Science 7**: 61-74.
- Uchôa Neto, C.A.M. & Tabarelli, M. 2003. **Prospecção de novas áreas de conservação do Centro de Endemismo Pernambuco**. Recife, Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste.

# INSIGHTS SOBRE A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DA SUBFAMÍLIA METEORIOIDEAE (BRYOPHYTA, METEORACEAE)

**Juliana Rosa do Pará Marques de Oliveira<sup>1</sup> & Kátia Cavalcanti Pôrto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, ES, Brasil.

[julianabio2@yahoo.com.br](mailto:julianabio2@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Botânica, Laboratório Biologia de Briófitas, Recife, PE, Brasil.

Os musgos (Bryophyta) formam segundo mais diverso grupo de plantas terrestres, ca. de 13.000 espécies, e compartilham com os antóceros (Anthocerotophyta) e as hepáticas (Marchantiophyta) o ciclo de vida haplodiplobionte com gametófito autotrófico (fase haploide) dominante, a poiquilohidria, bem como a ausência de tecido de condução lignificado (Goffinet & Shaw 2009). Essas três linhagens de plantas representam um marco vivo da transição e conquista do ambiente terrestre. Musgos são amplamente distribuídos geograficamente, ocorrendo em todos os ecossistemas, exceto o marinho, mas são particularmente abundantes nas florestas tropicais (Pócs 1982, Gradstein *et al.* 2001). Os musgos podem ser classificados em acrocápicos, cladocápicos e pleurocápicos de acordo com o posicionamento do periquéio no ramo (La Farge-England 1996).

Todos os membros de Meteoraceae são musgos pleurocápicos *sensu* La Farge-England (1996), ou seja, caracterizados pela posição em ramos laterais de suas estruturas reprodutivas femininas e, conseqüentemente, do esporófito (Figura 1A, B). Ocorrem como epífitas (Figura 1D,E), raramente epíxilas (Figura 1C) sendo bem representados principalmente em florestas úmidas e com neblina constante dos trópicos, onde se destacam por formar massivas colônias, formando quase que cortinas verdejantes pendentes dos galhos de árvores (Gradstein *et al.* 2001; Pócs 1982).

Atualmente a família abriga ca. 195 espécies, reunidos em 21 gêneros e duas subfamílias (Quandt *et al.* 2004; Frey & Stech 2009), que apresentam padrões de distribuição disjunta ocorrendo em florestas tropicais e subtropicais desde a Índia, Sul e Sudeste da Ásia, Austrália e Pacífico, Sul da África e Madagascar e Américas Central e do Sul (Schultze-Motel 1974; Noguchi 1976; Scott & Stone 1976; Smith 1976; Whittier 1976; Streimann 1991a, b, 1992; Costa *et al.* 2011).

Historicamente, Meteoraceae foi caracterizada apenas pelo hábito pendente (Figura 1D,E), e este foi mantido como o principal caráter distintivo, apesar da sua grande diversidade morfológica, como as variadas formas do fílidio, das células e seus padrões depapilicidade (Kindberg, 1897; Brotherus 1906, 1925; Fleischer, 1908). O próprio nome é uma referência a tal hábito, do grego *Meteoros*: em suspensão ou que pertencem a coisas ou fenômenos no ar. No entanto, este caráter como delimitador do grupo foi contestado por Buck (1994), e posteriormente, por Quandt & Huttunen (2004) que verificaram, baseado em dados moleculares, que o hábito pendente evoluiu independentemente em diversas linhagens dentro de musgos pleurocápicos.

As primeiras filogenias moleculares em Meteoraceae foram desenvolvidas por Quandt *et al.* (2004), as quais impulsionaram alterações significativas no seu conceito familiar. Huttunen & Quandt



**Figura 1.** A. Ramo de *Papillaria nitens* com esporófito; B. *Cryptopapillaria helictophylla*; C. *Meteorium polytrichum*, crescendo sobre rocha, caulídio principal prostrado e ramos ascendentes; D. *Papillaria nitens* crescendo em ramos de árvore, caulídio secundário longo e pendente; E. espécime de *Meteorium subpolytrichum* crescendo sobre ramo, possível visualizar ramos ascendentes e pendentes.

(2006), utilizando dados moleculares e morfológicos, procuraram testar a monofilia e as sinapomorfias dos clados dentro da família. Estes estudos resultaram na reavaliação do conceito familiar, com a manutenção da subfamília Meteorioideae, criada por Brotherus (1925), com sete gêneros, e descreveram uma nova subfamília, Meteriopsoidae, para onde foram transferidos 14 gêneros. Em consequência, a diagnose de Meteorioideae foi atualizada, bem como foram destacadas as suas principais sinapomorfias: esporos relativamente grandes ( $\rightarrow 20 \mu\text{m}$ ), coloração enegrescida da região basal dos ramos, margem dos filídios inteira a fracamente serreada, peristômio higroscópico e superfície do exóstoma completamente papilosa, com face interna pouco ou não trabeculada.

Atualmente esta subfamília inclui os gêneros *Chrysocladium* M. Fleisch., *Cryptopapillaria* M. Menzel, *Diaphanodon* Renaud & Cardot., *Meteorium* Dozy & Molk., *Papillaria* Lorentz, *Toloxis* W. R. Buck, e *Trachypus* Reinw. & Hornsch (Huttunen & Quandt 2006). No entanto, estes estudos incluíram poucos representantes, particularmente de *Papillaria*, *Meteorium* e *Cryptopapillaria* gêneros especiosos e bem distribuídos geograficamente. A monofilia da subfamília Meteorioideae tem sido suportada por dados moleculares e morfológicos, no entanto, as relações inter e intragenéricas permaneceram incertas, particularmente, quanto às espécies neotropicais.

Recentemente, Oliveira *et al.* (in prep.) usando marcadores genéticos para DNA nuclear e de cloroplasto e a incorporação de diversos táxons neotropicais ausentes em análises anteriores, e ainda representantes de todas as espécies de *Papillaria*, testaram a monofilia dos gêneros desta subfamília e verificaram suas interrelações.

As topologias das reconstruções filogenéticas resultantes das análises Bayesianas e Máxima Verossimilhança foram congruentes e monofilia dos gêneros foi bem suportada, embora apenas alguns poucos rearranjos em termos de espécies tenham sido sugeridos (Oliveira *et al.* in prep.).

Para as análises biogeográficas da subfamília foi construído um banco de dados com as informações de cada táxon obtidas a partir das etiquetas das exsicatas e literatura (Sainsbury 1955; Schultze-Motel 1974; Scott & Stone, 1976; Noguchi 1976; Noguchi & Iwatswki, 1989; Noguchi *et al.* 1991; Streimann 1991a, 1992; Menzel 1992; Crosby *et al.* 1993; Buck 1998; Churchill *et al.* 2000; O'Shea 2003; Huttunen 2008; Müller 2009; Allen 2010; Costa *et al.* 2011).

Baseado numa adaptação das áreas biogeográficas estabelecidas por Wijk *et al.* (1959) e na distribuição geográfica atual dos táxons (Figura 2A-C), seis áreas de endemismo foram estabelecidas: A) Sul e Sudeste Asiático, desde a Índia e Sri-Lanka, Butão, Nepal, Myamar, extremo sul da China, Camboja, Tailândia, arquipélogos que formam a Malásia, Indonésia e Filipinas; B) Australásia (Austrália, Tasmânia, Nova Zelândia e Nova Guiné); C) Pacífico (ilhas da Polinésia Francesa, Cook Island); D) Sudoeste da África (desde a República do Quênia até a África do Sul, e ainda Madagascar, Ilhas Maurício e Reunion); E) América Central e Costa Oeste da América do Sul (desde o sul do México até a Bolívia e o Chile); F) Sudeste da América do Sul, correspondente à Floresta Atlântica (Figura 2D).

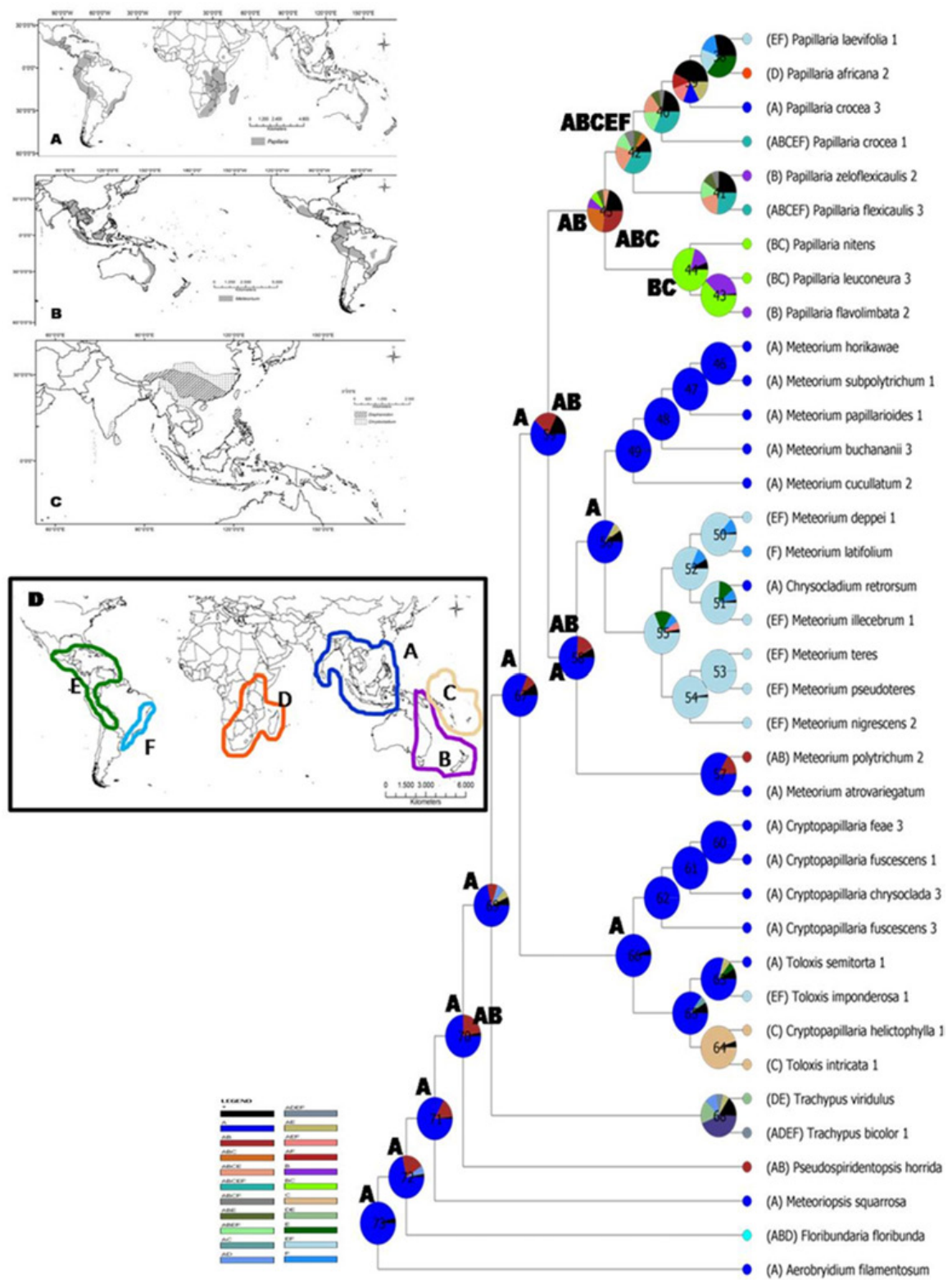
Sendo assim, ou com base no conhecimento adquirido foi possível realizar a reconstrução da história biogeográfica desse tão fascinante grupo de musgos. Para isso as abordagens de Análise de Vicariância Estatística (S-DIVA) e Método Bayesiano (BBM) (Yu *et al.*, 2010), ambas realizadas com o auxílio do programa RASP (Reconstruct Ancestral State in Phylogeny – Yu *et al.*, 2011). Do conjunto total de seqüências genéticas foram selecionados 37 terminais correspondentes às espécies. No caso de *Papillaria crocea* e *Cryptopapillaria fuscescens* foram utilizados dois morfotipos, visto que estes possuem áreas de distribuição distintas. Preliminarmente árvores foram geradas por inferência Bayesiana, utilizando 10.106 de gerações, modelo GTR+I+G, seis corridas e quatro cadeias, com árvores amostradas a cada 1000 gerações e burnin de 10%. A árvore condensada foi gerada utilizando também o RASP.

Resultados das análises S-DIVA e BBM foram congruentes, pequena variação nos valores de poucos nós foi encontrada (Tabela 1). As análises sugerem em Meteorioideae uma história biogeográfica complexa em que a dispersão e a vicariância têm exercido papéis vitais na formação de seu padrão de distribuição atual. De acordo com a hipótese biogeográfica ótima do RASP (Figura 2E), para explicar o atual padrão de distribuição das espécies da subfamília Meteorioideae, foram necessários 47 eventos de dispersão, oito eventos vicariantes e 12 eventos de duplicação (especiação em uma mesma área), principalmente na área A (Sul e Sudeste Asiático). A análise BBM indica duas prováveis faixas de distribuição para o ancestral comum mais recente (ACMR), na Ásia (A) ou na região entre a Ásia e a Australásia (AB), com probabilidade de 75% e 25 % respectivamente, e em S-DIVA com 100% de probabilidade para A, indicado pelo nó 70 (Tabela 1; Figura 2E). Os eventos de vicariância mais marcantes são representados pelos nós 65, 56, 45 e 44 que deram origem às principais linhagens de *Meteorium* e *Papillaria* (Tabela 1; Figura 2E).

Os resultados da BBM e S-DIVA foram bastante similares e as duas abordagens indicaram a Ásia como a área ancestral mais provável para os nós mais basais (Tabela 1; Figura 2D-E). A origem Asiática de Meteorioideae já era largamente especulada (Noguchi 1976; Streimann 1991a, b) e é consistente com os resultados de Huttunen *et al.* (2012, 2013).

As análises de Huttunen *et al.* (2012, 2013) sugerem que a diversificação de Hypnales se deu entre o Jurássico superior e Cretáceo inferior e que os clados mais basais da ordem se diversificaram na Gondwana, enquanto a radiação do clado principal de Hypnales aconteceu mais tarde em áreas do supercontinente Laurásico. Dentro da linhagem mais antiga de Hypnales todas as famílias apresentam distribuição atual no hemisfério Sul. As inferências de Huttunen *et al.* (2013) identificaram Plagiotheciaeeae como pertencente à linhagem que primeiro divergiu para áreas do antigo supercontinente da Laurásia. O clado Meteorioaceae/Brachytheciaceae foi reconstruído com distribuição ancestral Laurásica, sugerindo assim que eventos posteriores de dispersão teriam ocorrido permitindo assim a ocupação de áreas, no hemisfério Sul, que resultaram na sua distribuição atual. Apontando, assim o Sudeste Asiático como origem da Família e de seus principais representantes.





**Figura 2.** Biogeografia da subfamília Meteorioideae. (A-C) Faixa de distribuição dos gêneros, A- *Papillaria*; B - *Meteorium*; C- *Chrysocladium* e *Diaphanodon*. (D) Áreas de endemismos e respectivos códigos. (E) Reconstrução da distribuição ancestral de acordo com análise S-DIVA realizada em RASP baseada em 104 árvores amostradas da por inferência bayesiana a partir da de dados de seqüências de DNA nuclear e plastidial (ITS+rpl16+trnL-F+indels). Diagramas de Pizza indicam as probabilidades posteriores relativas da distribuição ancestral em cada nó (numerados em ordem crescente). Letras acima dos nós indicam área com maior probabilidade.

**Tabela 1.** Resultados das análises bioográficas da subfamília Meteorioideae sob S-DIVA e BBM. As três primeiras áreas ancestrais com as maiores probabilidades para os principais Nós de Meteorioideae são apresentadas separadas por barras.

Nó	terminais	S-DIVA	BBM
70	{terminais 1-34}	A {75.02%}/ AB {22.14%}	A {100%}
69	{terminais 1-33}	A {71.14%}/AB {9.58%}	A {33.33}/AE {33.33}
67	{terminais 1-31}	A {81.69%}/ AB {9.25%}	A {100%}
66	{terminais 24-31}	A {95.36%}/ AC {1.48%}	A {100%}
59	{terminais 1-23}	A {61.32%}/ AB {21.58%}	AB {50%}/ A 50%
58	{terminais 10-23}	A {76.12%}/ AB {16.25%}	A {100%}
56	{terminais 10-21}	A {83.62%}/ AE {7.55%}	AF {100%}
45	{terminais 1-9}	AB {27.44%}/ABC {24.94%}	AB {50%}/ B {50%}
44	{terminais 7-9}	BC {79.05%}/ B {15.45%}	B {100%}
43	{terminais 8-9}	BC {61.58%}/ B {36.93%}	B {100%}
42	{terminais 1-6}	ABCEF {34.04%}/ ABCE {20.75%}	BE {20%}/ BF {20%}

Os primeiros fósseis que puderam ser morfologicamente relacionados com linhagens atuais, corroboram que a grande radiação do grupo principal de Hypnales se deu na Laurásia, no Jurássico há ca. 157-198 ma (Newton *et al.* 2007). A ausência de fósseis confiáveis para membros de Meteorioideae, no entanto, não permitem uma regulação precisa do relógio molecular e consequente datação para a origem de gêneros e espécies.

A Análise de Dispersão-Vicariância sugere que a transição para o Hemisfério Sul teria ocorrido no ancestral de *Meteorium/Papillaria* (nó 59 – Figura 2e), para áreas da Austrália e Pacífico (Tabela 1), através de eventos posteriores de dispersão e subsequente radiação. Tal transição também ocorreu em outros musgos pleurocárpicos como Lembophyllaceae, Neckeraceae e Sematophyllaceae (Huttunen *et al.* 2012).

Em *Papillaria*, as análises indicam um ancestral largamente distribuído no Hemisfério Sul (nó 45 – Tabela 1; Fig. 2e), sugerindo assim que possíveis eventos de vicariância exerceram papel vital na diversificação de algumas espécies do gênero.

O Hemisfério Sul tem sido tradicionalmente considerado como tendo uma história fundamentalmente vicariante, a partir de sucessivas divisões desta biota ancestral. No entanto, estudos biogeográficos recentes, com base em estimativas moleculares e reconstruções paleogeográficas indicam que a dispersão pode ter sido mais importante do que tradicionalmente assumido (Sanmartin & Ronquist 2004). Eventos de dispersão à longa distância parecem desempenhar um papel importante no estabelecimento de padrões globais de diversidade de muitas espécies de briófitas, e os esporos parecem ser fundamentais para tal, visto que estes permanecem viáveis durante o transporte (Vanderpoorten & Goffinet 2009; Glime 2013). Muñoz *et al.* (2004) foram os primeiros a demonstrar usando evidências empíricas que os padrões de distribuição de diversos grupos exibem um paralelismo mais marcante com conectividade vento que com proximidade geográfica.

No entanto, como na maioria das espécies de musgos dióicos, em Meteorioideae, a presença de esporófito é bastante rara e diásporos assexuados parecem desempenhar um papel importante, não apenas na manutenção das populações, mas também na colonização de novos habitats (Noguchi 1978; Streimann 1991; Buck 1994; 1998).

A atual distribuição das espécies de *Papillaria* parece ser explicada por esses dois fenômenos vicariância e dispersão. *Papillaria laevifolia* e *P. africana*, por exemplo, são endêmicas ao continente Africano e Americano, respectivamente, nestas a presença de esporófitos é extremamente rara ou mesmo desconhecida, no entanto, compensada com a freqüente produção de propágulos assexuados que garantem não só a manutenção das populações mas também a colonização de novos nichos em nível regional (Oliveira *et al.* in prep). Por sua vez, em *P. flexicaulis* o esporófito é menos raro, fato que, poderia indicar dispersão à longa-distância, justificando assim, a sua atual distribuição mais ampla, porém disjunta (Australásia-Sul da América do Sul).

A dispersão por animais em briófitas, apesar de menos frequente, também poderia ser apontada como um dos fatores geradores de determinados padrões de distribuição. A zoocoria é bastante evidente em espécies de Splachnaceae que apresentam estruturas altamente visíveis e odoríferos para seus vetores de dispersão. Mas também têm sido relatada em outros grupos, por exemplo, em Ignatov & Ignatova (2001) que relataram em *Schistostega pennata* a presença de esporos cobertos com uma substância pegajosa, que causa a agregação destes tornando-os melhor adaptados para o transporte por artrópodes e outros animais a que aderem, em Parsons *et al.* (2007) que relataram o papel de morcegos na dispersão de musgos ou em Martínez-Torres *et al.* (2011) que relatam a relação epizoica entre diversas briófitas e diplopodas.

Aves também são conhecidas por dispersar fragmentos de briófitas em distâncias curtas ( $\leq 2$  m) (Davison 1976). A correlação entre a distribuição de algumas espécies, como *Timmia megapolitana* e rotas migratórias de aves, sugere também que as aves podem desempenhar um papel importante na dispersão de longa distância (Porley & Ellis 2002). Streiman (1991) destaca que espécies de *Papillaria* comuns na Austrália foram encontradas em ninho de pássaros em áreas da Tasmânia, indicando assim que as aves aqui também podem ter exercido papel relevante na sua dispersão.

Três clados com distribuições biogeográficas distintas são observados em *Meteorium*, reforçando assim a hipótese de vicariância como agente da diversificação de algumas linhagens no grupo seguido de eventos de dispersão.

Inferências sobre a história biogeográfica e a diversificação dentre *Toloxis* e *Cryptopapillaria* é ainda prematura, visto que espécies destes gêneros particularmente, *C. penicillata*, *C. helictophylla* e *Toloxis* que registradas para África, não foram incluídas nas análises moleculares pela ausência de material fresco. A coleta destas espécies e sua incorporação em trabalhos futuros tanto pode contribuir para o entendimento dos padrões de distribuições ancestrais e atuais, mas principalmente para esclarecer as suas relações infragenéricas.

## Referências

- Allen, B. 2010. Moss Flora of Central America. Part 3. Anomodontaceae – Symphyodontaceae. **Missouri Botanical Garden 117**: 1-731.
- Brotherus, V.F. 1906. Bryales. Pp. 817-864. In: Engler, H.G.A. & Prantl, K.A.E. (Eds.). **Nat. Pflanzenfam** part.I. Engelmann, Leipzig.
- Brotherus, V.F. 1925. In: Engler, A. (Ed.). **Nat. Pflanzenfam**. Engelmann, Leipzig.
- Buck, W.R. 1994. A new attempt at understanding the Meteoriaceae. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory 75**: 51-72.
- Buck, W.R. 1998. Pleurocarpous mosses of the West Indies. **Memoirs of The New York Botanical Garden 82**: 1-400.
- Churchill, S.P.; Griffin, I.D.; Muñoz, J. 2000. A checklist of the mosses of the tropical Andean countries. **Ruizia 17**: 1-203.
- Costa, D.P.; Pôrto, K.C.; Luiz-Ponzo, A.P.; Ilkiu-Borges, A.L.; Bastos, C.J.P.; Câmara, P.E.A.S.; Peralta, D.F.; Bôas-Bastos, S.B.V.; Imbassahy, C.A.A.; Henriques, D.K.; Gomes, H.C.S.; Rocha, L.M.; Santos, N.D.;

- Siviero, T.S.; Vaz-Imbassahy, T.F. & Churchill, S.P. 2011. Synopsis of the Brazilian moss flora: checklist, distribution and conservation. **Nova Hedwigia** **93**: 277-334.
- Crosby, M.R.; Schultze-Motel, U. & Schultze-Motel, W. 1983. Katalog der Laubmoose von Madagaskar und den umliegenden Inseln. **Willdenowia** **13**: 187-255.
- Davison, G. W. H. 1976. Role of birds in moss dispersal. **British Birds** **69**: 65-66.
- Fleischer, M. 1908. **Musci der Flora von Buitenzorg (Zugleich Laubmoosflora von Java)** **3**: 750-847. E.J. Brill, Leiden.
- Frey, W. & Stech, M. 2009. Marchantiophyta, Bryophyta, Anthocerotophyta. Pp. 9-263. In: W. Frey (Ed.). **Syllabus of Plant Families, Part 3**. Gebr. Borntraeger, Stuttgart.
- Gradstein, S.R.; Churchill, S.P. & Salazar-Allen, N. 2001. Guide to the Bryophytes of Tropical America. **Memoirs of The New York Botanical Garden** **86**: 1-577.
- Goffinet, B. & Shaw, A.J. 2009. **Bryophyte Biology**. Cambridge University Press.
- Gradstein, S.R.; Vitt, D.H. & Anderson, R.S. 1984. The epizoic occurrence of *Daltonia angustifolia* in Papua New Guinea. **Cryptogamie, Bryologie et Lichénologie** **5**: 47-50
- Gradstein, S.R.; Churchill, S.P. & Salazar-Allen, N. 2001. Guide to the Bryophytes of Tropical America. **Memoirs of The New York Botanical Garden** **86**: 1-577.
- Huttunen, S. & Quandt, D. 2006. Phylogenetic relationships within the moss family Meteoriaceae in the light of different datasets, alignment and analysis methods. Pp. 145-162. In: Newton, A.E. & Tangney, R.S. (Eds.). **Pleurocarpus Mosses: Systematics and Evolution**. CRC Press.
- Huttunen, S. 2008. Bryophyte flora of Hunan Province, China. 9. Meteoriaceae (Musci) I. *Chrysocladium*, *Duthiella*, *Meteorium*, *Pseudospiridentopsis*, *Toloxis*, and *Trachypodopsis*, with identification key for Meteoriaceae in Hunnan. **Nova Hedwigia** **86**: 367-399.
- Huttunen, S.; Bell, M.N.E.; Bobrova, V.K.; Buchbender, V.; Buck, W.R.; Cox, C.J.; Goffinet, B.; Hedenäs, L.; Ho, B.C.; Ignatov, M.S.; Krug, M.; Kuznetsova, O.I.; Milyutina, I.A.; Newton, A.E.; Olsson, S.; Pokorný Montero, C.I.; Shaw, A.J.; Stech, M.; Troitsky, A.V.; Vanderpoorten, A. & Quandt, D. 2012. Disentangling knots of rapid evolution: origin and diversification of the moss order Hypnales. **Journal of Bryology** **34**: 187-211.
- Huttunen, S.; Ignatov, M.S.; Quandt, D. & Hedenäs, L. 2013. Phylogenetic position and delimitation of the moss family Plagiotheciaceae in the order Hypnales. **Botanical Journal of the Linnean Society** **171**: 330-353.
- Ignatov, M.S. & Ignatova, E.A. 2001. On the zoochory of *Schistostegapennata* (Schistostegaceae, Musci). **Arctoa** **10**: 83-96.
- Kindberg, N.C. 1897. **Species of European and North American Bryinae (Mosses). Part 1. Pleurocarpus**. Linköping, Linköping Lithografiska Aktiebolag.
- Martínez-Torres, S. D.; Flórez Daza, A.E. & Linares-Castillo, E.L. 2011. Meeting between kingdoms: discovery of a close association between Diplopoda and Bryophyta in a transitional Andean-Pacific forest in Colombia. Pp. 29-46. In: Mesibov, R. & Short, M. (Eds.). Proceedings of the 15th International Congress of Myriapodology. International Journal of Myriapodology **6**.
- Menzel, M. 1992. The bryophytes of Sabah (North Borneo) with special reference to the BRYOTROP transect of Mount Kinabalu. XVII. Meteoriaceae (Leucodontales, Bryopsida). **Willdenowia** **22**: 171-196.
- Müller, K. 2009. An updated checklist of the mosses of Chile. **Archieve of Bryology** **58**: 1-124.
- Munõz, J.; Felicísimo, A. M.; Cabezas, F.; Burgaz, A. R. & Martínez, I. 2004. Wind as a long-distance dispersal vehicle in the southern Hemisphere. **Science** **304**: 1144-1147.
- Newton A.E.; Wikström N.; Bell N.; Forrest L.L. & Ignatov M.S. 2007. Dating the diversification of the pleurocarpus mosses. Pp.: 337-366. In: Newton, A. & Tangney, R. (Eds.). **Pleurocarpus mosses: Systematics and evolution**. Systematics Association Special 71.
- Noguchi, A. 1976. A taxonomic revision of the family Meteoriaceae of Asia. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory** **41**: 231-357.
- Noguchi, A. & Iwatsuki, Z. 1989. **Illustrated Moss Flora of Japan** part 3. Pp. 492-742. Hattori Botanical Laboratory, Nichinan.

- Noguchi, A.; Iwatsuki, Z. & Yamaguchi, T. 1991. **Illustrated Moss Flora of Japan** part 4. Pp. 743–1012. Hattori Botanical Laboratory, Nichinan.
- O'Shea, B.J. 2003. Checklist of the mosses of sub-Saharan Africa (version 4, 12/03). **Tropical Bryology Research Reports 4**: 1–182.
- Pócs, T. 1982. Tropical forest bryophytes. Pp. 59–104. **Bryophyte Ecology**. Chapman & Hall, London & New York.
- Parsons, J.G.; Cairns, A.; Johnson, C.N.; Robson, S.K.A.; Shilton, L.A. & Westcott, D.A. 2011. Bryophyte dispersal by flying foxes: A novel discovery. **Oecologia 152**: 112–114.
- Porley, R.D. & Ellis, R.W. 2002. *Timmia megapolitana* Hedw. (Bryopsida, Timmiales) new to the British Isles. **Journal of Bryology 24**: 151–156.
- Quandt, D. & Huttunen, S. 2004. Evolution of pendent life-forms in bryophytes. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory 95**: 207–217.
- Quandt, D.; Huttunen, S.; Streimann, H.; Frahm, J.P. & Frey, W. 2004. Molecular phylogenetics of the Meteoriaceae s. str.: focusing on the genera *Meteorium* and *Papillaria*. **Molecular Phylogenetics and Evolution 32**: 435–461.
- Sainsbury, G.O.K. 1955. A handbook of the New Zealand mosses. **Bulletin of the Royal Society of New Zealand 5**: 1–490.
- Sanmartín, I. & Ronquist, F. 2004. Southern Hemisphere biogeography analyzed with event-based models: Plant versus animal patterns. **Systematic Biology 53**: 216–243.
- Schultze-Motel, W. 1974. Die Moose der Samoa-Inseln. **Willdenowia 7**: 333–408.
- Scott, G.A.M. & Stone, I.G. 1976. **Mosses of Southern Australia**. Academic Press, London.
- Smith, D.R. 1976. Mosses of Micronesia. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory 40**: 41–85.
- Streimann, H. 1991a. Taxonomic studies on Australian Meteoriaceae (Musci). 1. Introduction and the genus *Papillaria*. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory 69**: 203–256.
- Streimann, H. 1991b. Taxonomic studies on Australian Meteoriaceae (Musci). 2: The genera *Aerobryopsis*, *Barbella*, *Floribundaria*, *Meteoriopsis*, *Meteorium* and *Weymouthia*. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory 69**: 277–312.
- Streimann, H. 1992. Mosses genus *Papillaria* (Meteoriaceae) in the Pacific. **Journal of the Hattori Botanical Laboratory 71**: 83–111.
- Vanderpoorten, A. & Goffinet, B. 2009. **Introduction to Bryophyte Biology**. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Whittier, H.O. 1976. **Mosses of the Society Islands**. The University Presses of Florida, Gainesville
- Yu, Y.; Harris, A.J. & He, X.J. 2010. S-DIVA (Statistical Dispersal-Vicariance Analysis): a tool for inferring biogeographic histories. **Molecular Phylogenetics and Evolution 56**: 848–850.
- Yu, Y.; Harris, A.J. & He, X.J. 2011. **RASP: reconstruct ancestral state in phylogenies v.2.0.1.0, beta 1**, build 110304. Available at: <http://mnh.scu.edu.cn/soft/blog/RASP>

# CENOZOIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICAN BIOMES

**Carlos Jaramillo**

Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá.

[jaramilloc@si.edu](mailto:jaramilloc@si.edu)

“The Neotropics contain the largest biotic diversity of the world”. This sentence is the classical introduction that hundreds of papers dealing with the American tropics have used (including our own). However, we are yet not even close to understand why that is the case. It is not a trivial question for a number of reasons. First, the Neotropics is an enormous area, almost as large as United States and Canada combined, or twice the size of Europe. Furthermore, the undersampling of its biota is severe. There are hundreds of thousands of hectares across the region that never have been explored by scientists. But, understanding the causes of high diversity is not only about the species that are there, but the interactions among them, and the historical events that have led to the modern patterns of diversity and distribution. In this symposium, we are going to address this last topic, focusing on the evolution of the modern biomes during the Cenozoic.

There are a number of biome classifications that have been used for South America, and there is still no consensus on them (Hughes *et al.* 2013), nor how they should be delimited (Sarkinen *et al.* 2011). Biome definition is also a matter of scale of observation and the question to be answered. At the continental and the Cenozoic time scale, we prefer to use a broad classification that uses six major groups on the basis of their broad physiognomy (Dorman and Sellers 1989; Josse *et al.* 2003; Pennington *et al.* 2006) as follows: Tropical rainforest/TRF; Seasonally dry forest (Caatinga, Pacific equatorial dry forests, and Chaco); Broadleaf and needleleaf trees (moist Pacific temperate and the Atlantic forests, which have a mixture of angiosperms and gymnosperms, mostly evergreens); Savanna/grassland/steppe (Orinoquia, Cerrado, Pampas, Patagonia, and Mediterranean Chile); Desert; and Andean vegetation (premontane, cloud forest, and páramo/alpine vegetation). What determines the occurrence of a given biome? Is it the combination of a set of climatic (e.g. temperature, humidity, degree of seasonality, level of CO<sub>2</sub>) and edaphic parameters that certain groups of plants are adapted to? Climatic and edaphic parameters have changed considerably over the Cenozoic. What happens to the biomes as we know them nowadays? What if the set of parameters that define a biome today did not exist in the past? What if each clade follows its own evolutionary pathway independent of other species and respond on its own way to climate and edaphic changes? Do biomes exist at all? That is the sort of questions we will explore during our symposia. Pierre Sepulchre will explore the climate of the Cenozoic for South America both from the empirical and modeling perspective. Andres Mora will give an overview of the uplift of the Andes and its relation with the South American craton, as this geological evolution is critical as parent rock (and therefore soils), drainages and at some extent local/regional climate are controlled mainly by geology. Felipe Hinojosa will use the plant fossil record to show how some modern biomes are the legacies of ancient extensive distributions, and are “out of phase” (leaving in a set of climatic parameters that are different to the parameters present during the Paleogene). Ari Iglesias will also use the fossil record to explore the responses of plants in Patagonia to the warming of the Paleogene, and the Paleocene/Neogene transition, when a major drop in temperature and CO<sub>2</sub> levels occurred. Lúcia Lohmann will unravel the evolutionary history of

Bignoniaceae using genetic, morphological, and phenological data. As Bignoniaceae is a typical Neotropical family, very diverse and present in a number of biomes, it could be used as a model-case to understand neotropical biome evolution. And finally, Alexandre Antonelli, will illustrate how the key determinants of biodiversity can be estimated for each biome through the use of novel methods that are able to co-analyze vast amounts of molecular, fossil, and distribution data. Understanding why there are so many species in the Neotropics requires a diverse set of fields, that rarely meet and work together, and this is the main aim of this symposium.

## References

- Dorman, J.L, Sellers PJ. 1989. A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere Model (SiB). **Journal of Applied Meteorology and Climatology** 28: 833-855
- Hughes, C.E.; Pennington, R.T. & Antonelli, A. 2013. Neotropical plant evolution: assembling the big picture. **Botanical Journal of the Linnean Society** 171: 1-18.
- Josse, C.; Navarro, G.; Comer, P.; Evans, R.; Faber-Langendoen, D.; Fellows, M.; Kittel, G.; Menard, S.; Pyne, M.; Reid, M.; Schulz, K.; Snow, K. & Teague, J. 2003. **Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems**. Arlington, NatureServe.
- Pennington RT, Lewis GP, Ratter JA. 2006. An overview of the plant diversity, biogeography and conservation of Neotropical savannas and seasonally dry forests. Pp. 1-30. In Pennington, R.T.; Lewis, G.P. & Ratter, J.A.(Ed.) **Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests: Plant Diversity, Biogeography, and Conservation**. Boca Raton, Taylor & Francis
- Särkinen T. E., Marcelo Peña J. L., Daza Yomona A., Simon M. F., Pennington R. T., Hughes C. E.. 2011. Underestimated endemic species diversity in the Marañon seasonally dry tropical forests of Peru—An example from Mimosa (Leguminosae, Mimosoideae). **Taxon** 60: 139-150.

# THE EVOLUTION AND FATE OF NEOTROPICAL BIOMES

**Alexandre Antonelli**

University of Gothenburg, Department of Biological and Environmental Sciences, Göteborg, Sweden,  
[alexandre.antonelli@bioenv.gu.se](mailto:alexandre.antonelli@bioenv.gu.se)

The geological and climatic history of the Neotropics sets the stage for its biotic evolution. In addition to in-depth analyses of individual lineages, cross-taxonomic analyses may reveal more general patterns. The analysis of species that are indicative of certain biomes may allow us to shed further light on when and under which conditions different biomes were formed, and how they might be affected by on-going global change. Towards these goals, I identify three main challenges and prospects:

*First, we need to agree on the operational units we are dealing with – biomes. There have been considerable advances on our understanding of how individuals build populations, which then hierarchically group into species (be they defined morphologically, phylogenetically or biologically). How species then group into biomes is much less understood, with many related terms being used – such as ecoregions, ecozones, chorotypes, bioregions, biozones, areas of endemism, realms, and domains. Quantitative identification and delimitation of biomes using species distribution data (e.g., Kreft & Jetz, 2010; Sarkinen et al., 2011; Holt et al., 2013; Vilhena & Antonelli, in review) might eventually replace expert-based and more subjectively defined classifications such as WWF's (Figure 1). However, to tackle current challenges (in particular geographically uneven data), we now need novel integrative solutions that formally analyze data from remote sensing, niche modeling, climatic variables, land use and species distributions.*

*Second, we need to better explore the potential of 'Big Data' in biodiversity research – including the rapid accumulation of molecular sequences, fossil records and geo-referenced species occurrences. Despite important geographical, temporal and taxonomic biases in these data, when carefully used they can provide powerful insights into the three processes that determine the biodiversity of any system: speciation, extinction, and migration. Bioinformatics tools are now being developed that can aid the biologist to select, integrate and analyze these data, with direct applications to the origin and evolution of biome-specific lineages (e.g., [www.supersmart-project.org](http://www.supersmart-project.org)).*

*Third, we need to understand to which extent the insights we are gaining on the evolution of Neotropical biomes can be applicable to forecasting on-going and future responses of biodiversity to Global Change. There is a common criticism that current rates of climate change and changes to natural environments are much faster than those experienced in the past, and for this reason should not be directly compared. For instance, it has been suggested that species will not be able to adapt to novel environmental conditions quickly enough (Quintero & Wiens, 2013). We argue that studying the past may provide a complementary, and hitherto poorly explored approach to help us predict for the future. In particular, the analyses of diversification patterns inferred from fossils and molecular sequences may allow us to discern between the effects of climate and habitat changes in affecting biodiversity, e.g. by focusing on extreme events such as the PETM and the K/Pg bolide collision. The co-occurring*





**Figure 1.** Main biomes of South America following WWF's classification scheme.

effect of climatic and habitat changes, their synergy, and faster rates, urge however for caution in over-interpreting results from past inferences, and in translating them into future scenarios.

## Acknowledgments

Swedish Research Council (B0569601) and the European Research Council under the European Union's Seventh Framework Programme (FP/2007-2013, ERC Grant Agreement n. 331024). I thank Alexander Zizka for compiling Figure 1 and the conference's organizers for their invitation to contribute this paper.

## References

- Holt, B.G., *et al.* 2013. An update of Wallace's zoogeographic regions of the world. **Science** 339(6115):74-78.
- Kreft, H. & Jetz, W. 2010. A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. **J. Biogeogr.** 37(11):2029-2053.
- Quintero, I. & Wiens, J.J. 2013. Rates of projected climate change dramatically exceed past rates of climatic niche evolution among vertebrate species. **Ecol. Lett.** 16(8):1095-1103.
- Sarkinen, T.; Iganci, J.R.; Linares-Palomino, R.; Simon, M.F. & Prado, D.E. 2011. Forgotten forests - issues and prospects in biome mapping using Seasonally Dry Tropical Forests as a case study. **BMC Ecol.** 11:27.



# EVOLUTION AND BIOGEOGRAPHY OF THE BIGNONIACEAE: INSIGHTS INTO THE ORIGIN OF THE NEOTROPICAL FLORA

**Lúcia G. Lohmann**

Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, São Paulo, Brasil.

[llohmann@usp.br](mailto:llohmann@usp.br)

The history of present-day patterns of species diversity has fascinated biogeographers and ecologists for a long time. Yet, the exact factors that have shaped current distribution patterns remain to be understood. The plant family Bignoniaceae represents a conspicuous component of Pan-tropical forests, being particularly diverse and abundant in the Neotropics. The Neotropical representatives of the Bignoniaceae are distributed across multiple lineages, providing important insights into the origin of Neotropical ecosystems. Representatives of the Bignoniaceae occur in most ecological zones and exhibit considerable diversity in reproductive and vegetative morphology. The ecological importance of this group, combined with its broad distribution and morphological diversity make this plant family an excellent model for investigating the history of Tropical ecosystems, in particular the Neotropics where this plant family is most abundant and diverse. Here, I use broad-scale molecular phylogenetic data to investigate patterns of diversity across the Tropics. I then use fine-scale phylogenetic data of selected lineages to investigate finer-scale patterns of diversity within the Neotropics. Insights gained from ecological, morphological, genetic, biogeographic, paleontologic, and geologic data suggest that patterns of modern diversity have complex evolutionary histories. (Financial Support: CNPq, FAPESP, NASA and NSF)

# BIOGEOGRAPHIC PATTERNS AND CENOZOIC LEGACIES TO THE EVOLUTION OF THE SOUTHERN SOUTH AMERICAN FLORA

**Luis Felipe Hinojosa<sup>1,2</sup>; Fernanda Pérez<sup>2,3</sup>, Ricardo Segovia<sup>2</sup> & Aurora Gaxiola<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

[lfhinojosa@uchile.cl](mailto:lfhinojosa@uchile.cl)

<sup>2</sup> Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB).

<sup>3</sup> Departamento de Ecología, Pontificia Universidad Católica de Chile.


The forested region in southern South America represents an ideal scenario to answer questions related with diversity-climate relationships and the historical legacies that could modify the modern relationship between climate and diversity gradient.

Present-day Chilean and southern Argentinian forests represent a biogeographic 'island' surrounded by arid and semi-arid ecosystems, the Pacific Ocean, the Andean mountain range and the Patagonian steppe on the western side of the Andes, and are therefore characterized by a unique high proportion (32%) of endemic genera. Furthermore, one third of the temperate forest woody genera are related to tropical and subtropical floras from Australasia and the Neotropics. The blend of Gondwanic (Austral-Antarctic & Australasian), Neotropical and endemic phytogeographic elements that make up the flora of southern temperate forests can be traced back to the ancient palaeofloras, from Gondwanic tropical- subtropical floras to Mixed and Neogene subtropical floras (in Central Chile), that occupied southern South America in the early Cenozoic. The both temporal and spatial succession of this paleofloras has been linked with the transition from a "greenhouse" to an "icehouse" climatic change during the Cenozoic and the simultaneous contraction of the climatic belt toward boreal latitude. Beside, changes in the geography (uplift of the Andes) and the emergence of the Arid Diagonal, during the Neogene, result into the modern isolate distributional pattern of the southern South American forest.

The temporal and spatial succession of paleofloras concomitant with the climatic changes fit well with the idea of taxa tracked favoured habitats (niche conservatism) from an ancient-highly endemic floristic region, as show the very low similitude between Eocene tropical vs temperate latitudes in South America. However, and as the geographic isolation of the flora increased, the "habitat tracking" was severely limited reducing diversity and increasing the endemism, but leaving other pattern that represent legacies from the pre-Quaternary history to the biogeography of the southern South American Forest.

In this talk we will revisit some notable legacies from this pre-Quaternary history, including the unexpected high incidence of plant-animal mutualisms; the persistence of original foliar physiognomies, attributed to their persistence under past warmer tropical-like conditions; the tolerance of freezing evolution in a Neotropical taxa, *Myrceugenia*. Finally we will evaluate the climatic niche conservatism hypothesis on *Nothofagus* genera, including climatic niche reconstruction and fossil record, with special emphasis in their Eocene record, in southern South America.

(This work was supported by Grants Fondecyt 1120215-1110929, ICM P05-002, the Millennium Institute of Ecology and Biodiversity (IEB), grant P05-002 from Mideplan, PFB 23 from Conicyt PFB-023.)



# CENOZOIC UPLIFT OF THE ANDES AND ITS RELATIONSHIP WITH THE PALEOBOTANICAL EVOLUTION. WHAT DO WE KNOW AND WHAT DO WE NEED TO KNOW? THE VIEW OF A GEOLOGIST

**Andres Mora**

Ecopetrol S A. - Instituto Colombiano del Petróleo.

[andres.mora@ecopetrol.com.co](mailto:andres.mora@ecopetrol.com.co)

**P**aleogeography of mountains and adjacent low elevation basins is intimately linked with the concept of base level. Regarding that, we are able to know many things that happened in the past below the base levels, but not much about the things that happened above the base level. This is even more challenging in mountains older than about 70 ma. Areas above the base level are areas with relief, like mountain chains. In those areas, modern techniques allow us to know whether erosion was rapid or slow and which type of materials were eroded. We can also know if there was relief or not, but the evolution and magnitude of the topographic elevation is poorly understood, if we take the present day as a reference. Orogenic belts are the most prominent areas above regional and local base levels but the available techniques to understand their evolution have been scarcely applied. In addition, here we show that the Andes are at the lower extreme in that ranking. With that type and amount of data we can only make large inferences on the impact of Andean orogenesis in the evolution of species and show certain type locations, like the Colombian Andes, where this understanding has been more comprehensive and could really help unraveling the evolution of species through time. The good news from the Colombian Andes is that initial ideas have been refined rather than refuted with the application of more advanced technologies.



# LONG-TERM INFLUENCE OF TECTONICS ON CLIMATE AND SPECIES EVOLUTION IN THE NEOTROPICS. WHERE DO WE GO?

**Pierre Sepulchre**

IPSL/Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif-sur-Yvette Cedex, France.

[pierre.sepulchre@lsce.ipsl.fr](mailto:pierre.sepulchre@lsce.ipsl.fr)

Together with variations of atmospheric CO<sub>2</sub> and insolation, plate tectonics play a major role on long-term climate changes by melding Earth's surface. These changes include both horizontal (supercontinent break-up, opening-closure of seaways) and vertical (uplift of mountain ranges) dimensions, and have strong influences on ocean and atmospheric dynamics. How do these long-term climate changes influence the evolution of species? The first step to answer this question is to quantify, in space and time, how tectonics have affected climate. To do so, General Circulation Models constrained by geological data can be used to simulate climate response to tectonics. Here I will introduce such studies with the impact of Pangea break-up on global climate and vegetation. Then I will focus on the Cenozoic, and show how the closure of Central American Seaway and the uplift of the Andes have altered the global climate. The latter will be compared with the east-African uplift impact on African vegetation. Lastly, I will give insights about the new challenges, in terms of methodology, to bridge the gap between paleoclimate and evolutionary sciences.

# THE WARM PALEOGENE FLORAS, THE BEGINNING OF THE COOL TEMPERATE BIOME, AND THE DIVERSITY BACKGROUND IN SOUTHERN SOUTH AMERICA

**Ari Iglesias**

Universidad Nacional del Comahue, Instituto de Investigaciones en Biodiversidad  
y Medioambiente INIBIOMA-CONICET, Río Negro, Argentina.

[ari\\_iglesias@yahoo.com.ar](mailto:ari_iglesias@yahoo.com.ar)

**A**t the onset of the Cenozoic (i.e. Paleogene, 65–57 Ma), the strengthening of the zonal climatic increment at high latitudes was reinforced by the global early Paleogene warming (Zachos *et al.* 2001). In southern South America, there are several fossil-floras correlated to this climatic warming. They had a relative climatic uniformity as it was situated in the Warm Temperate belt (Iglesias *et al.* 2011), although likely they come from partitioned lands product of epeiric seas that flooded most of the Atlantic basins in the Cretaceous/Paleogene boundary.

A relatively high diversity of angiosperm floras from the lower Paleogene (~64 Ma) can be recognized in Patagonia. Although quite impoverished in comparison with those from the latest Cretaceous, their diversity is high relative to that of Northern Hemisphere analogues (Iglesias *et al.* 2007; Cúneo *et al.* 2004; Clyde *et al.* 2014). The presence of Zamiaceae cycas, palms, tree ferns, and leaf fossil morphology are consistent with warm temperatures in high latitudes (with winter mean temperatures above 14 °C, and no-frost). Mean annual precipitation estimations in Patagonia for that time are above 1100 mm (Iglesias *et al.* 2007; Raigemborn *et al.* 2009), resultant of a Southern Andean Cordillera still not raised to modern elevations. Evergreen Podocarpaceae forests extended across southern South America (40–54°S paleolatitude) in the lowlands (Brea *et al.* 2005), meanwhile identified angiosperms corresponds to Akaniaceae, Casuarinaceae, Cunoniaceae, Fabaceae, Lauraceae, Menispermaceae, Myrtaceae, among others (Iglesias *et al.* 2007).

Paleoenvironmental reconstructions based on Paleocene floras allowed us to infer the presence of mangroves (with palms, *Pandanus* and Rhizophoraceae), swamp woodlands, and mossy forests at high latitudes (Petriella & Archangelsky 1975).

A continuous global warming is observed in the early Paleogene, with two thermal peaks called thermal or climatic optima: first one in the Palaeocene–Eocene (PETM, ~55 Ma) and the second in the early Eocene (EECO, ~52 Ma) (Zachos *et al.* 2001).

During the EECO, in Patagonia, leaf floras yield estimated temperatures around 14–18 °C (Wilf *et al.* 2005; Hinojosa *et al.* 2010) and mean annual precipitations over 2000 mm (Wilf *et al.* 2009). In the centre-west rainforest are evident base on several taxa as *Akania*, Menispermaceae, Myrtaceae, etc.. as well as high diversity in conifers as *Papuacedrus*, *Dacrycarpus*, *Podocarpus*, *Acropyle*, *Retrophyllum*, *Araucaria* (Section *Eutacta*) and *Agathis*. These fossil floras seems to have developed in montane elevations and associated to caldera-like volcanism (e.g. Pampa de Jones, Laguna del Hunco and Pichi-leufu floras; Berry 1938; Wilf 2012; Wilf *et al.* 2003, 2005, 2013). Meanwhile towards the eastern, more

open habitats as savanas seems to be developed with palms and Taxaceae/Cephalotaxaceae (Brea *et al.* 2009).

In high latitude South America, most early Paleogene fossil floras have humid subtropical taxa and, although they had their own features, their plant families were closely linked with Australasia via Antarctica (specially with fossil records of *Eucalyptus*, *Glyptostrobus*, *Akania*, *Papuacedrus*, *Dacrycarpus*, and the fern *Todea*), with few evidences of neotropical connections. The gondwanic links still can be found even in modern communities (Iglesias *et al.* 2011; Wilf *et al.* 2013, and cites therein). Meanwhile for the same time in middle-low latitudes, although limited in fossil records, it can be recognized small sized leaf floras, abundance of sclerophyllous taxa, and low plant diversity (Woodburn *et al.* 2013).

The global increase in temperature that took place in the early Paleogene ended at the Middle-Late Eocene (~50 Ma) with a long global episode of decreasing temperature. That change is related to the early opening of the Drake Passage (between South America and Antarctica) and the subsequent formation of the Tasmania Passage (between Australia and Antarctica), which activated the Circum-Antarctic Circulation, causing the declining of global temperatures.

A major phylogeographical change occurred because of the passage from a Warm House to a Cold House that took place in the Oligocene (34–23 Ma) and then extended into the Neogene (23 Ma to the present). During the Oligocene, all biogeographical regions seems to migrated to lower latitudes. Four extant biomes have been identified for South America although with very different in distribution (Iglesias *et al.* 2011). In Patagonia, cool temperate forests – with conifers and deciduous angiosperms – further developed and extended into low latitudes. Sub-Antarctic floras dominated by diverse *Nothofagus* expanded their distribution, covering wider regions in southern Argentina and Chile (Troncoso & Romero 1998; Malumián 1999). Fabaceae and Asteraceae show greater diversification in cooler and drier periods through the Oligocene–Miocene (Barreda *et al.* 2007).

During the early Miocene (24–15 Ma), Nothofagaceae, Podocarpaceae and Araucariaceae forests are still present in the Extra-Andean region (*Nothofagidites* Province, Romero 1993; Barreda & Palazzesi 2007). Palm and Nothofagaceae mixed forests (plus other South Andean Forest components) are still recorded in southeastern Patagonia during Miocene (Brea *et al.* 2013), mixture that today can only be observed in Mediterranean climates of central Chile, subtropical New Caledonia, and tropical New Guinea. Nevertheless, several genera and families of plants were extinct by this global climatic change, and never happened again in South America.

The first expansion of herbaceous shrub and typical Patagonian steppe elements with plant diversity similar to modern times is noticed in the Transition Palaeophytogeographical Province (Barreda & Palazzesi 2007; Woodburn *et al.* 2014) and the Seasonally Dry Forest (Chaco) in the northern Argentina (Barreda *et al.* 2007), when the southern Andes begins their maximum rate of ascent.

Although several molecular studies indicate that tropical species have been a major source of evolutionary novelty, developing over short geological times rather than old taxa refuge; recent molecular and fossil studies in *Podocarpus* species have shown interesting South American biogeographic pattern that can be traced back further into the Paleogene (Quiroga *et al.* 2014) with a dissimilar history at different South American latitudinal forests.

If the plant richness were higher in high-middle latitude regions during the Early Paleogene, and arid biome in subtropical areas could functioned as effective barriers with northern regions, then the diversity gradient should have shown a different pattern compared to the modern Neotropical gradient. The corroboration of this hypothesis requires the presence of plant fossil record across different paleo-latitudes and over long periods of time. The presence of Early Paleogene tropical floras at Colombia and Venezuela seems to describe a total different history for the northern South America, with almost no shared taxa with the southern South America. Few fossil-floras in the Andes also

seems to describe a cordillera corridor, as it has been suggested by new molecular studies. How the southern ancestral floras (Paleogene floras) contributed to the high biodiversity at the modern Neotropical still remain with lots of uncertainty, but several traces are indicating differentiated spots of old background in plant richness for the South America Continent.

## Acknowledgments

For collaborative works to several researchers from Museo Egidio Feruglio (Argentina), Pennsylvania State University (USA) and La Plata University (Argentina). For funding to Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas from Argentina (CONCIET), and National Science Foundation (NSF) grants DEB-0919071 and DEB-0918932.

## References

- Barreda, V. & Palazzesi, L. 2007. Patagonian vegetation turnovers during the Paleogene–Early Neogene: origin of arid-adapted floras. **The Botanical Review** 73: 31–50.
- Barreda, V.; Anzótegui, L.M.; Prieto, A.R.; Azeñolaza, P.; Bianchi, M.M.; Borromel, A.M.; Brea, A.M.; Caccavari, M.; Cuadrado, G.A.; Garralla, S.; Grill, S.; Guersstein, G.R.; Lutz, A.; Mancini, M.V.; Mautino, L.R.; Ottone, E.G.; Quattrocchio, M.E.; Romero, E.J.; Zamalao, M.C. & Zucol, A. 2007. Diversificación y cambios de las angiospermas durante el Neógeno en Argentina. In: **Asociación Paleontológica Argentina**, ed. Ameghiniana 50 aniversario. Buenos Aires: Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial, 173–191.
- Berry, E.W. 1938. Tertiary flora from the Río Pichileufú, Argentina. **Geological Society of America Special Paper** 12: 1–149.
- Brea, M.; Matheos, S.; Zamuner, A. & Ganuza D. 2005. Análisis de los anillos de Crecimiento del bosque fósil de Víctor Szlápelis, Terciario inferior del Chubut, Argentina. **Ameghiniana** 42: 407–418.
- Brea, M.; Bellosi, E. & Krause, M. 2009. *Taxaceoxylon katuatenkum* sp. nov. en la Formación Koluel-Kaike (Eoceno inferior - medio), Chubut, Argentina: un componente de los bosques subtropicales paleógenos de Patagonia. **Ameghiniana** 46: 127–140.
- Clyde, W.; Wilf, P.; Iglesias, A.; Slingerland, R.; Barnum, T.; Bijl, P.K.; Bralower, T.J.; Brinkhuis, H.; Comer, E.; Huber, B.T.; Ibañez-Mejía, M.; Jicha, B.R.; Krause, J.M.; Schueth, J.D.; Singer, B.S.; Raigemborn, M.S.; Schmitz, M.D.; Sluijs, A. & Zamalao, M.C. 2014. New age constraints for the Salamanca Formation and lower Río Chico Group in the western San Jorge Basin, Patagonia, Argentina: Implications for K/Pg extinction recovery and land mammal age correlations. **Geological Society of America Bulletin** 126: 389–306
- Cúneo, N.R.; Johnson, K.R.; Wilf, P.; Scasso, R.; Gandolfo, M.A. & Iglesias, A. 2007. **A preliminary Report on the Diversity of Latest Cretaceous Floras From Northern Patagonia, Argentina**. Denver: Geological Society of America Annual Meeting.
- Hinojosa, L.F.; Pérez, F.; Gaxiola, A. & Sandoval, I. 2010. Historical and phylogenetic constraints on the incidence of entire leaf margins: insights from a new South American model. **Global Ecology and Biogeography** 20: 380–390.
- Iglesias, A.; Artabe, A.E. & Morel, E. 2011. The evolution of Patagonian climate and vegetation from the Mesozoic to the present. **Linnean Society of London** 103: 409–422.
- Iglesias, A.; Wilf, P.; Johnson, K.; Zamuner, A.B.; Cúneo, N.R. & Matheos, S. 2007. A Paleocene lowland macroflora from Patagonia reveals significantly greater richness than North American analogs. **Geology** 35: 947–950.



- Malumián, N. 1999. La sedimentación y el volcanismo terciarios en la Patagonia extraandina. In: Caminos R, ed. **Geología argentina**. Buenos Aires: SEGEMAR, 558– 612.
- Petriella, B. & Archangelsky, S. 1975. Vegetación y Ambiente en el Paleoceno de Chubut. **Actas del Primer Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía** 1: 257–270.
- Quiroga, P.; Mathiasen, P.; Igesias, A. & Premoli, A. 2014. Paleo-biogeographic patterns of *Podocarpus* in South America inferred from phylogeny and fossil record. **International Paleontological Congress**, Mendoza.
- Romero, E.J. 1993. South American Paleofloras. In: Goldbat P, ed. **Biological relationships between Africa and South America**. New Haven: Yale University Press, 62–85.
- Troncoso, A. & Romero, E.J. 1998. Evolución de las comunidades florísticas en el extremo sur de Sudamérica durante el Cenofítico. In: Fortunato R, Bacigalupo N, eds. **VI Congreso Latinoamericano de Botánica Proceedings**. St. Louis: Monographs in Systematic Botany Missouri Botanical Garden, 68: 149–172.
- Wilf, P. 2012. Rainforest conifers of Eocene Patagonia: attached cones and foliage of the extant southeast Asian and Australasian genus *Dacrycarpus* (Podocarpaceae). **American Journal of Botany** 99: 562–584.
- Wilf, P.; Johnson, K.R.; Cúneo, R.; Smith, E.; Singer, B.S. & Gandolfo, A. 2005. Eocene plant diversity at Laguna del Hunco and Río Pichileufú, Patagonia, Argentina. **The American Naturalist** 165: 634–650.
- Wilf, P.; Little, S.A.; Iglesias, A.; Zamalao, M.C.; Gandolfo, M.A.; Cúneo, N.R. & Johnson, K.R. 2009. *Papuacedrus* (Cupressaceae) in Eocene Patagonia: a new fossil link to Australasian rainforests. **American Journal of Botany** 96: 2031–2047.
- Wilf, P.; Cúneo, R.N.; Escapa I.H.; Pol, D. & Woodburne MO. 2013. Splendid and Seldom Isolated: The Paleobiogeography of Patagonia. **Annual Review of Earth and Planet Science** 41:561–603.
- Woodburn, M.O.; Goin, F.J.; Bond, M.; Carlini, A.A.; Gelfo, J.N.; López, G.M.; Iglesias, A. & Zimicz, A.N. 2013. Paleogene Land Mammal Faunas of South America; a response to global climatic changes and indigenous floral diversity. **Journal of Mammalian Evolution** 21: 1–73.
- Zachos, J.C.; Pagani, M.; Sloan, L.; Thomas, E. & Billups, K. 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. **Science** 292: 686–693.

# ECOFISIOLOGÍA DE SEMILLAS DE PLANTAS TROPICALES: EL ACONDICIONAMIENTO MÁTRICO UNA HERRAMIENTA ÚTIL PARA GERMINAR ESPECIES NATIVAS, ÚTILES PARA LA RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE ESPECIES

**Alma Orozco-Segovia, Ma. Esther Sánchez-Coronado, Jorge A. Martínez-Villegas, Luis V. Pedrero-López, Ángel Becerra Vázquez, Alejandra Rosete-Rodríguez & Humberto Peraza-Villarreal**

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología,  
Departamento de Ecología Funcional, DF, México.

## Introducción

En la etapa final del desarrollo de la semilla se da inicio la abscisión del fruto y la semilla empieza a experimentar el efecto de los factores ambientales que la rodean a ella o la planta madre. Toda la información percibida por la semilla tiene repercusiones en la germinación, el desarrollo de la plántula y su posterior establecimiento y crecimiento (Bray 1995). En las últimas décadas se ha reportado que como resultado de pulsos erráticos de precipitación, las semillas del suelo experimentan ciclos de hidratación-deshidratación (priming o acondicionamiento natural) en los que hay avances en la movilización de proteínas (González-Zertuche *et al.* 2001; Gamboa de Buen *et al.* 2006), y se establecen mecanismos antioxidantes que previenen la pérdida de su viabilidad en el suelo (Long *et al.* 2011). También se desarrolla tolerancia a factores de estrés (Vieira *et al.* 2010; Nicasio-Arzeta *et al.* 2011). Estos resultados son similares a los obtenidos con tratamientos de acondicionamiento (hidratación regulada seguida por deshidratación) que se aplica a semillas de especies agrícolas para uniformar la respuesta germinativa e incrementar el vigor de las semillas, la supervivencia de las plántulas y el rendimiento del cultivo (Halmer 2004).

Hay cuatro métodos para acondicionar a las semillas: 1) acondicionamiento osmótico, las semillas se embeben en soluciones acuosas de NaCl, manitol, polietilenglicol (PEG) u otros solutos; 2) acondicionamiento hídrico, la disponibilidad de agua para la germinación se regula limitando el aporte, el tiempo de hidratación o reduciendo la temperatura durante ésta; 3) acondicionamiento mátrico, las semillas se hidratan en matrices sólidas como la vermiculita, arena, y otros; 4) acondicionamiento en un tambor en movimiento, las semillas se hidratan con finas partículas de agua que se hace circular dentro del tambor. El acondicionamiento osmótico se ha aplicado a *Anaderanthera peregrina* (Pinho *et al.* 2010), *Buddleia cordata* (González-Zertuche *et al.* 2000, 2002), *Cassia excelsa* (Jeller *et al.* 2003), *Guazuma ulmifolia* (Brancaion *et al.* 2010), *Jacaranda decurrens* (Kissmann *et al.* 2011) *Mimosa bimucronata* (Bran-

calión *et al.* 2008), *Pterogyne nitens* (Tonin *et al.* 2005) y *Tabebuia impetiginosa* (Vieira *et al.* 2010). El acondicionamiento hídrico se ha aplicado con éxito en *Albizia lebeck*, (González *et al.* 2009) *Buddleia cordata* (González-Zertuche *et al.* 2000, 2002), *Cecropia schreberiana*, *Hibiscus elatus*, *Trichospermum mexicanum* (Sánchez *et al.* 2003, 2006), *Cordia alliodora* (Acosta-Montes de Oca 2002), *Moringa oleifera* (Ferreira dos Santos 2011), *Glyricidia sepium* (De la Vega 2003, González *et al.* 2009), *Leucaena leucocephala* (Sánchez *et al.* 2005; González *et al.* 2005), *Parkia pendula* (Vargas-Pinedo y Kossmann-Ferraz 2008), *Parkia multijuga* (Calvi *et al.* 2008), *Quercus rugosa* (Castro-Colina *et al.* 2012) y *Solanum lycocarpum* (Anese *et al.* 2011). Nosotros hemos aplicado con éxito el acondicionamiento natural en *Buddleia cordata* (González-Zertuche 2005), *Dodonaea viscosa* (Pedrero-López 2011; Benítez *et al.* 20013), *Opuntia tomentosa*, *Sedum oxypetalum* (Martínez-Villegas *et al.* 2012), *Urera caracasana* (Gudiño-González-2003), *Wigandia urens* (González-Zertuche *et al.* 2001; Gamboa de Buen *et al.* 2006), *Ceiba aesculifolia* (Garza-Caligaris *et al.* 2012) y *Tecoma stans* (Alvarado 2012) En la mayoría de las especies estudiadas, ha habido: cambios en los requerimientos para germinar, mayor sincronía y velocidad de ésta, mayor capacidad germinativa y tolerancia al estrés durante la germinación y/o el crecimiento.

En la mayoría de los atributos de las semillas existen continuos, más que grupos claramente delimitados (Pammenter & Berjak 1999). Por lo tanto, para entender el papel del acondicionamiento natural en la germinación de las especies, de cualquier unidad de vegetación, es necesario responder la siguiente pregunta: ¿Se relaciona la respuesta de las especies a los ciclos de hidratación-deshidratación que ocurren en el suelo (acondicionamiento natural) con las características de las semillas o con su fenología?

## Materiales y Métodos

### *Recolecta de semillas y especies estudiadas*

Las semillas se recolectaron en los sitios y los tipos de vegetación indicados (Tab. 1). Las semillas se limpiaron, se dejaron secar durante 5 días, a la sombra y se guardaron en frascos de vidrio en el laboratorio.

### *Acondicionamiento hídrico*

Se realizó en las semillas de las especies en que se indica en la Tab. 2. En todos los casos se pusieron de 3 a 5 replicas con 30-50 semillas cada una dependiendo del tamaño y la disponibilidad de las semillas. El acondicionamiento hídrico se hizo a 25 °C y duró 48 horas, después las semillas se deshidrataron en la oscuridad por 2-5 días a temperatura ambiente y se almacenaron en frascos de vidrio hasta su uso. Subsecuentemente las semillas acondicionadas se colocaron en cajas de plástico con arena o en cajas de Petri, dependiendo de su tamaño y se germinaron a 25 °C. El efecto se evaluó en el porcentaje, tiempo de inicio, tiempo promedio y velocidad de germinación. Los dos últimos se obtuvieron ajustando la curva de germinación a modelos exponencial sigmoide ( $y = a/1 + be^{-cx}$ ). Se reporta el efecto favorable en cualquiera de los parámetros evaluados.

### *Preacondicionamiento natural*

Las semillas se enterraron en el campo en los mismos sitios en que se recolectaron. El tiempo que permanecieron enterradas se calculó con base en la curva de germinación de semillas recién colectadas y en el tiempo que separa la época de dispersión de la época lluviosa del año en cada

sitio de recolecta. Éste se indica en la Tab. 1. Antes de enterrarlas se colocaron en bolsas de tela de organza, 5 bolsas por especie. Previo al enterramiento, las semillas con latencia física (*Dodonaea viscosa*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Samanea saman* y *Leucaena leucocephala*) se escarificaron con  $H_2SO_4$  o con agua caliente. Al término del periodo de enterramiento, las semillas se desenterraron evitando su exposición a la luz y se secaron en un cuarto oscuro. Posteriormente, las semillas se germinaron a 25 °C. La germinación se evaluó con base en la protrusión de la radícula, cada tercer día. En las especies cuyas semillas germinaron durante el periodo de enterramiento no se reporta el resultado.

## Supervivencia y crecimiento

En las especies indicadas en la Tab. 2 se evaluó el crecimiento en el invernadero o en el área de recolecta de las semillas. El crecimiento se evaluó en la altura de la planta o longitud de la raíz.

## Resultados

De las 21 especies que se estudiaron (Tab. 2, Fig. 1) cuatro tuvieron una cubierta impermeable, por lo que tuvieron que ser escarificadas para que pudieran hidratarse y deshidratarse durante el enterramiento (*Dodonaea viscosa*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Leucaena leucocephala* y *Samanea saman*). Después de lo cual, las cuatro especies respondieron favorablemente al acondicionamiento natural durante la germinación. De ocho especies en las que no se sobreponen la época de fructificación y dispersión con el establecimiento de la época de lluvias, siete presentaron una respuesta germinativa favorable al acondicionamiento. De las 17 especies con semillas permeables en 14 se sobrelapa la época de fructificación y dispersión con la época lluviosa y tres más germinaron durante el enterramiento (*Cedrela odorata*, *Cordia alliodora* y *Gliricidia sepium*). En *Tabebuia rosea* se pudrieron las semillas y, de las diez especies restantes, el enterramiento no tuvo efecto en la germinación de *Heliconia appendiculata* y *H. donnell-smithii*. Estas especies se enterraron como son dispersadas, dentro del fruto.

El crecimiento se evaluó en 11 especies (Tab. 2, Fig. 1), de las cuales tres tuvieron semilla con cubierta impermeable y en ninguna de ellas hubo un efecto favorable del acondicionamiento natural (*D. viscosa*, *E. cyclocarpum* y *S. saman*). Dentro de las siete especies restantes, tres de cuatro especies (*B. cordata*, *S. oxypetalum* y *W. urens*) crecen y pertenecen a un ambiente marcadamente estacional y de particular interés fue *S. oxypetalum*, ya que su raíz mostró un desarrollo mayor en comparación con las semillas control (Fig. 2). Las restantes especies son de la selva alta perennifolia y la dispersión de las semillas se sobrepone con la época de lluvias. En 90% de las especies en que se evaluó la supervivencia, ésta se incrementó por la aplicación del acondicionamiento natural. *Tabebuia rosea* fue la excepción.

El acondicionamiento hídrico se probó en nueve especies (Tab. 2, Fig. 1) y cinco tuvieron una mejor respuesta germinativa (*G. sepium*, *B. cordata*, *D. viscosa*, *E. cyclocarpum* y *S. saman*); mientras que *Cedrela odorata*, *Cupania glabra*, *Cymbopetalum bailonii* y *Swietenia macrophylla* fueron indiferentes al tratamiento. En el crecimiento hubo respuesta favorable al acondicionamiento hídrico en 50% de las especies, sin relación con el hábitat o su fenología o la permeabilidad de sus semillas (Tab. 2). Todas las especies tuvieron mayor supervivencia con este tratamiento.

El acondicionamiento hídrico solo se ha probado en cuatro especies, *Cordia alliodora*, *G. sepium*, *B. cordata* y *W. urens*, de las cuales solo en la última no hubo un efecto en la germinación. El crecimiento solo se evaluó en tres especies de las cuales solo en *B. cordata* hubo una respuesta favorable al tratamiento y las restantes especies (*G. sepium* y *W. urens*) fueron indiferentes. La supervivencia se incrementó en las tres primeras especies (Tabla 2, Fig. 1).

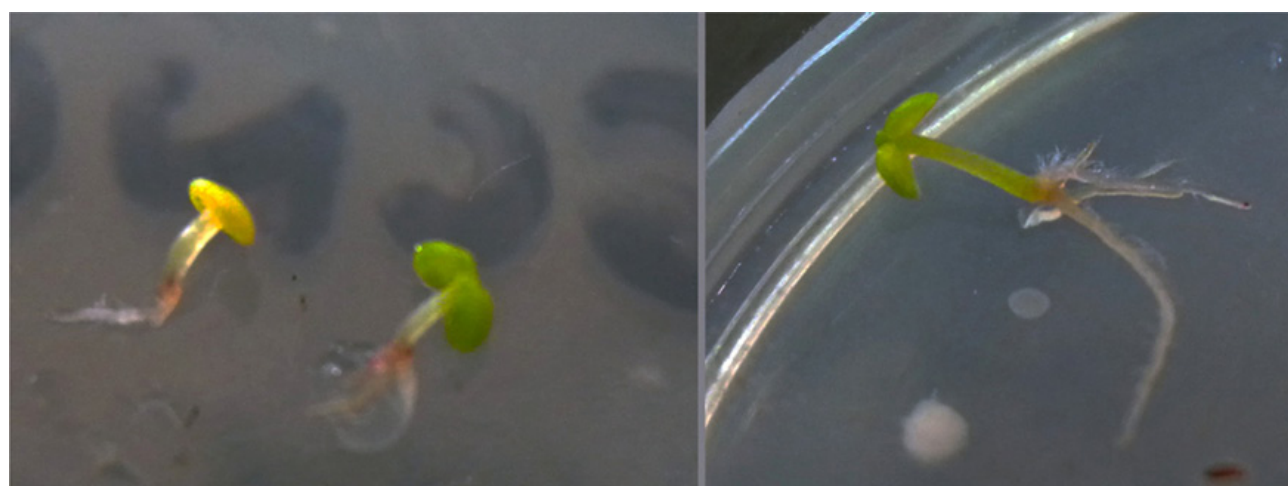
**Tabla 1.** Lista de especies en las que se han probado los tratamientos de acondicionamiento en México y sitios de recolección. Se muestran algunas de sus características ecológicas. MX = Matorral xerófilo, SAP = Selva alta perennifolia, SBC = Selva baja caducifolia, SI = Selva inundable, SMP = Selva mediana perennifolia.

Especie	Época de fructificación	Tipo de dispersión	R	Temporada de lluvias		Tipo de vegetación	Lugar de recolecta	Coordenadas
				Inicio	Final			
<i>Cordia alliodora</i>	septiembre - abril	anemócora	julio	junio	noviembre	SAP	Los Tuxtlas, Veracruz.	18°00'-18°43' N 94°40'-95°30' O
<i>Coupania glabra</i>	marzo - mayo	endozoócora	marzo	junio	noviembre	SAP	Los Tuxtlas, Veracruz.	18°00'-18°43' N 94°40'-95°30' O
<i>Cymbopetalum bailonii</i>	febrero - mayo	endozoócora	julio	junio	noviembre	SAP	Los Tuxtlas, Veracruz.	18°00'-18°43' N 94°40'-95°30' O
<i>Gliricidia sepium</i>	marzo - julio	anemócora y barócora	julio	junio	noviembre	SAP	Los Tuxtlas, Veracruz.	18°00'-18°43' N 94°40'-95°30' O
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	febrero - mayo	anemocora	abril	junio	noviembre	SAP	Los Tuxtlas, Veracruz.	18°00'-18°43' N 94°40'-95°30' O
<i>Piper auritum</i>	enero - diciembre	endozoócora	febrero - marzo	junio	noviembre	SAP	Los Tuxtlas, Veracruz	18°00'-18°43' N 94°40'-95°30' O
<i>Urera caracasana</i>	noviembre - febrero	endozoócora	abril	junio	noviembre	SAP	Los Tuxtlas, Veracruz.	18°00'-18°43' N 94°40'-95°30' O
<i>Heliocarpus donnell-smithii</i>	enero - abril	anemócora	julio	mayo	octubre	SAP	Sur de Tamaulipas	22°55'30'' - 23°25'50''N 99°05'50'' - 99°26'30''O
<i>Buddleja cordata</i>	noviembre - marzo	anemócora	diciembre	junio	octubre	MX	Pedregal de San Ángel	19°16'200'' - 19°20'02''N 99°12'55'' - 99°08'26''O
<i>Dodonaea viscosa</i>	diciembre - abril	anemócora	dic-ene	junio	octubre	MX	Pedregal de San Ángel	19°16'200'' - 19°20'02''N 99°12'55'' - 99°08'26''O
<i>Opuntia tomentosa</i>	octubre - diciembre	endozoócora	noviembre	junio	octubre	MX	Pedregal de San Ángel	19°16'200'' - 19°20'02''N 99°12'55'' - 99°08'26''O
<i>Sedum oxypetalum</i>	septiembre - enero	anemócora	ene-mar	junio	octubre	MX	Pedregal de San Ángel	19°16'200'' - 19°20'02''N 99°12'55'' - 99°08'26''O

Continua

**Tabla 1.** Continuación.

Especie	Época de fructificación	Tipo de dispersión	R	Temporada de lluvias		Tipo de vegetación	Lugar de recolecta	Coordenadas
				Inicio	Final			
<i>Wigandia urens</i>	febrero - mayo	anemócora	mayo	junio	octubre	MX	Pedregal de San Ángel	19°16'200'' - 19°20'02''N 99°12'55'' - 99°08'26''O
<i>Haematoxylum campechianum</i>	mayo - julio	barócora e hidrócora	mayo mayo	junio	enero	SI	Tabasco	17°49'34'' N 91°21' 38'' O
<i>Ceiba pentandra</i>	abril - junio	anemócora	febrero	junio	octubre	SBC	Actopan, Veracruz	17°49'34'' N 91°21' 38'' O
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	febrero - junio	endozoócora	Febrero	junio	octubre	SMP	Actopan, Veracruz	19°49' 24'' N 96°26' 51''O
<i>Leucaena leucocephala</i>	octubre - enero	endozoócora	Febrero	junio	octubre	SBC	Actopan, Veracruz	19°34' 32'' N 96°48' 06''O
<i>Samanea saman</i>	octubre - marzo	endozoócora	Febrero	junio	octubre	SMP	Actopan, Veracruz	19°34' 32'' N 96°48' 06''O
<i>Tabebuia resea</i>	abril - mayo	anemócora	febr-mar	junio	octubre	SBC	Actopan, Veracruz	19°34' 32'' N 96°48' 06''O
<i>Cedrela odorata</i>	junio - agosto	anemócora	febr-mar	junio	noviembre	SMP	Papantla, Veracruz	20°27'31''N 97°23'38''O
<i>Swietenia macrophylla</i>	junio - abril	anemócora	febr-mar	junio	noviembre	SMP	Papantla, Veracruz	20°27'31''N 97°23'38''O



**Figura 1.** Plántulas de *Sedum oxypetalum*. Control (A) y (B) plántulas provenientes de semillas pretratadas con acondicionamiento natural.

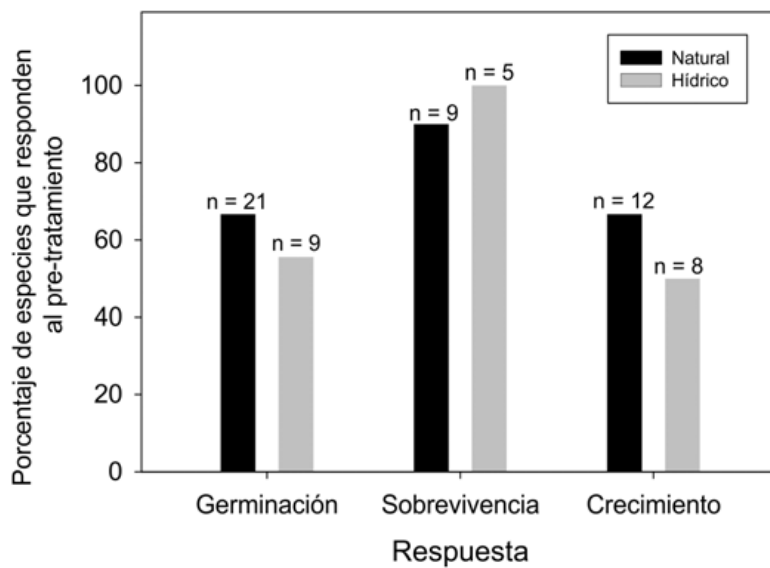
**Tabla 2.** Efecto de los distintos tipos de acondicionamiento, aplicados a distintas especies, en la respuesta germinativa y en las primeras etapas de su crecimiento. G = Germinación, S = Supervivencia, C = Crecimiento. GE = germinaron durante el enterramiento, -) = no se ha probado, Si) efecto positivo, No) no mejoró la respuesta del parámetro evaluado. P) las semillas perdieron la viabilidad.

Especie	Acondicionamiento								
	Natural			Hídrico			Osmótico		
	G	S	C	G	S	C	G	S	C
<i>Cordia alliodora</i>	GE	-	-	-	-	-	SI	-	-
<i>Coupania glabra</i>	SI	-	SI	NO	-	SI	-	-	-
<i>Cymbopetalum bailonii</i>	SI	-	SI	NO	-	SI	-	-	-
<i>Gliricidia sepium</i>	GE	-	-	SI	-	-	SI	SI	NO
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	N	Ø	SI	-	-	-	-	-	-
<i>Piper auritum</i>	Si	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Urera caracasana</i>	SI	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heliocarpus donnell-smithii</i>	N	Ø	SI	-	-	-	-	-	-
<i>Buddleja cordata</i>	SI	-	SI	SI	-	SI	SI	NO	SI
<i>Dodonaea viscosa</i>	SI	SI	NO	SI	NO	SI	-	-	-
<i>Opuntia tomentosa</i>	Si	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sedum oxypetalum</i>	N	Ø	SI	-	-	-	-	-	-
<i>Wigandia urens</i>	SI	SI	SI	-	-	-	NO	NO	NO
<i>Haematoxylum campechianum</i>	SI	SI	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ceiba pentandra</i>	SI	SI	-	-	-	-	-	-	-
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	SI	SI	NO	SI	SI	NO	-	-	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	SI	SI	-	-	-	-	-	-	-
<i>Samanea saman</i>	SI	SI	NO	SI	SI	NO	-	-	-
<i>Tabebuia rosea</i>	P	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cedrela odorata</i>	GE	SI	NO	NO	SI	NO	-	-	-
<i>Swietenia macrophylla</i>	SI	SI	NO	NO	SI	NO	-	-	-

## Discusión

Hasta el momento son pocas especies con las que se ha probado el efecto de distintos tipos de acondicionamiento. Sin embargo, todas ellas con la excepción de *T. rosea* han respondido favorablemente en germinación, crecimiento o supervivencia a algún tipo de ellos. Lo que indica que éstas herramientas y en especial las de bajo costo y fácil aplicación (acondicionamiento hídrico y acondicionamiento natural) son herramientas factibles para ser utilizadas en programas de restauración.

La respuesta de las semillas de especies con cubiertas impermeables, las cuales deben probablemente permanecer mucho tiempo en el banco de semillas antes de germinar y la respuesta de las semillas de especies que crecen en ambientes claramente estacionales y con fructificación se-



**Figura 2.** Porcentaje de especies que responden al acondicionamiento natural y al acondicionamiento hídrico, en etapas tempranas del ciclo de vida. R) mes de recolección.

parada de la época de lluvias, por al menos un mes, sugiere que el acondicionamiento natural podría ser una herramienta que mejore el éxito de la propagación o la supervivencia de éstas especies. En las especies estudiadas la supervivencia se incrementó con más frecuencia con los distintos tipos de acondicionamiento. En *D.viscosa* el acondicionamiento hídrico y natural, reduce la mortalidad de las plántulas más de 50% (Benítez-Rodríguez *et al.* 2013; Pedrero-López 2011). Además, es de gran importancia para el establecimiento que el acondicionamiento natural haya incrementado la longitud de las raíces de las plántulas de *S. oxypetalum*.

Hasta años recientes se ha incursionado en los cambios moleculares, bioquímicos y de desarrollo que ocurren en la semilla, como resultado de la percepción de su ambiente (González-Zertuche 2001, de Buen *et al.* 2006). Desde el punto de vista ecológico tiene gran relevancia la respuesta favorable de las semillas al enterramiento, ya que en condiciones naturales el tiempo de permanencia de las semillas en el banco del suelo puede ser un tiempo de preparación para que la germinación ocurra de manera rápida y sincrónica cuando la época lluviosa esté bien establecida, lo que representa para las plántulas una ventaja para el establecimiento temprano y mayor probabilidad de sobrevivir. Esta información, así como observaciones propias indican que las fluctuaciones en la hidratación del suelo no tienen un efecto favorable en la semilla de algunas especies como *T. rosea*; o bien, el tiempo que toleran estar sujetas a éstas, sin perder la viabilidad, difiere ampliamente entre las especies de diferentes hábitats. Esto podría sustentarse en el hecho de que una vez iniciada la germinación, los embriones de las distintas especies difieren en su tolerancia a la deshidratación (Bruggink & van der Toorn 1995; Buitink *et al.* 2006).

El efecto del acondicionamiento de laboratorio en semillas de especies silvestres tropicales ha sido estudiado principalmente en Cuba y Brasil. En estos países se le ha dado relevancia al papel que podría jugar el acondicionamiento, en sus distintas modalidades, en la agricultura, la reforestación y la restauración de ecosistemas. Sin embargo, los resultados obtenidos no han sido incorporados a los protocolos utilizados en la restauración a pesar de sus bondades: en la mayor parte de los casos no hay efectos negativos del acondicionamiento hídrico y natural sobre las especies estudiadas y la pequeña reducción en el porcentaje de germinación (10-20%) que induce el acondicionamiento osmótico se compensa con las ventajas que representan un menor tiempo para la propagación y una mayor supervivencia.




## Agradecimientos

Agradecemos al proyecto PAPIIT IN201912 de la DGAPA, UNAM, por el financiamiento otorgado.

## Referencias

- Acosta-Montes de Oca, E. 2002. Estudio ecofisiológico de la germinación de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken., con fines de restauración ecológica. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Alvarado López, S. 2012. Respuesta al acondicionamiento natural de las semillas de plantas del estado de Veracruz. Tesis de maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.
- Anese, S.; da Silva, E.A.A.; Davide, A.C.; Rocha-Faria, J.M.; Soares, G.C.M.; Matos, A.C.B. & Toorop, P.E. 2011. Seed priming improves endosperm weakening, germination, and subsequent seedling development of *Solanum lycocarpum* St. Hil. **Seed Science & Technology** **39**: 125-139.
- Benítez-Rodríguez, L.; Gamboa-deBuen, A.; Sánchez-Coronado, M.E.; Alvarado-López, S.; Soriano, D.; Méndez, I.; Vázquez-Santana, S.; Carabias-Lillo, J.; Mendoza, A. & Orozco-Segovia, A. Effects of seed burial on germination, protein mobilisation and seedling survival in *Dodonaea viscosa*. **Plant Biology** ISSN 1435-8603 doi: 10.1111/plb.12110.
- Brancalion, P.H.S.; Novembre, A.D.L.C.; Rodrigues, R.R. & Tay, D. 2008. Priming of *Mimosa bimucronata* seeds - A tropical tree species from Brazil. **Acta Horticulturae** **782**: 163-170.
- Brancalion, P.H.S.; Tay, D.; Novembre, A.D.L.C.; Rodrigues, R.R. & Filho, J.M. 2010. Priming of pioneer tree *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae) seeds evaluated by an automated computer image analysis. **Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)** **67**: 274-279.
- Bray, C.M. 1995. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. Pp 767-789. In: Kigel, J. & Galili, G. (Eds.). **Seed Development and Germination**. New York, Marcel Dekker.
- Bruggink T, van der Toorn P. 1995. Induction of desiccation tolerance in germinated seeds. **Seed Science Research** **5**: 1-4.
- Buitink, J.; Leger, J.J.; Guisle, I.; Vu1, B.L.; Wuillème, S.; Lamirault, G.; Le Bars, A.; Le Meur, N.; Becker, A.; Küster, H. & Leprince, O. 2006. Transcriptome profiling uncovers metabolic and regulatory processes occurring during the transition from desiccation sensitive to desiccation-tolerant stages in *Medicago truncatula* seeds. **The Plant Journal** **47**: 735-750.
- Calvi, G.P.; Audd, F.F.; Vieira, G. & Ferraz, I.D.K. 2008. Tratamentos de pré-embebição para aumento do desempenhada germinação de sementes de *Parkia multijuga* Benth. **Revista Forestal Latinoamericana** **23**: 53-65.
- Castro-Colina, L.; Martínez-Ramos, M.; Sánchez-Coronado, M.E.; Huante, P.; Mendoza, A. & Orozco-Segovia, A. 2012. Effect of hydropriming and acclimation treatments on *Quercus rugosa* acorns and seedlings. **European Journal of Forest Research** **131**: 747-756.
- De la Vega, A. 2003. Estudio ecofisiológico de la germinación y establecimiento de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud Papilionaceae con fines de restauración ecológica. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Ferreira dos Santos, A.R.; Silva-Mann, R.; Ferreira, R.A. & Souza-Brito, A. 2011. Water pre-hydration as priming for *Moringa oleifera* lam., seeds under salt stress. **Tropical and Subtropical Agroecosystems** **14**: 2007-2011.
- Gamboa-deBuen, A.; Cruz-Ortega, R.; Martínez-Barajas, E.; Sánchez-Coronado, M.E. & Orozco-Segovia, A. 2006. Natural priming as an important metabolic event in the life history of *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae) seeds. **Physiologia Plantarum** **128**: 520-530.
- Garza-Caligaris, L.E.; Avendaño-Vázquez, A.O.; Alvarado-López, S.; Zúñiga-Sánchez, E.; Orozco-Segovia, A. & Gamboa-deBuen, A. 2012. *At3g08030* transcript: a molecular marker of seed ageing. **Annals of Botany** **1109**: 1253-1260.

- González, Y.; Reino, J. & Machado, R. 2005. Producción, beneficio y conservación de semillas de plantas arbóreas. Pp 53. In: Simón, L. (Ed.). **El Silvopastoreo: Un nuevo concepto de pastizal**. EEPF «Indio Hatuey», Matanzas, Cuba-Universidad de San Carlos de Guatemala.
- González, Y.; Sánchez, J.A.; Reino, J. & Montejo, L.A. 2009. Efecto de los tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación, la emergencia y el vigor de las plántulas de *Albizia lebeck* y *Gliricidia sepium*. **Pastos y Forrajes 32**: 1-9.
- González-Zertuche, L.; Orozco-Segovia, A.; Baskin, C. & Baskin, J.M. 2002. Effects of priming on germination of *Buddleja cordata* ssp. *cordata* (Loganiaceae) seeds and possible ecological significance. **Seed Science and Technology 30**: 535-548.
- González-Zertuche, L. 2005. Tratamientos de endurecimiento en semillas de *Buddleja cordata* (Loganiaceae) y *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae), dos especies útiles para reforestar o restaurar áreas perturbadas. Tesis de Doctorado, UNAM.
- González-Zertuche, L.; Orozco-Segovia, A. & Vázquez-Yanes, C. 2000. El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y en la supervivencia de la plántula. **Boletín de la Sociedad Botánica de México 65**: 73-81.
- González-Zertuche, L.; Vázquez-Yanes, C.; Gamboa, A.; Sánchez-Coronado, M.E.; Aguilera, P. & Orozco-Segovia, A. 2001. Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: Effects on germination, growth and protein expression. **Seed Science Research 11**: 27-34.
- Gudiño-González, W.A. 2003. Pretratamientos de enterramiento en semillas de *Urera caracasana* (Jacq.) Griseb., como una herramienta para la restauración: efectos en la germinación y la tasa germinativa en un gradiente de temperatura. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Halmer, P. 2004. Methods to improve seed performance in the field. Pp 125-156. In: Benech-Arnold, R.L. & Sánchez, R.A. (Eds.). **Handbook of seed physiology. Applications to Agriculture**. New York, London, Oxford. The Haworth Reference Press.
- Jeller, H.; Perez, S.C.J.G.A. & Raizer, J. 2003. Water uptake, priming, drying and storage effects in *Cassia excelsa* Schrad seeds. **Brazilian Journal of Biology 63**: 61-68.
- Kissmann, C.I.; Scalón, S.P.Q.; Scalón, F.H. & Vieira, M.C. 2011. Biorregulador e pré-condicionamento osmótico na germinação de sementes e no crescimento inicial da muda de carobinha (*Jacaranda decurrens* subsp. *symmetrifoliolata* Farias & Proença) Bignoniaceae. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais Botucatu 13**: 58-67.
- Long, R.L.; Kranner, I.; Panetta, F.D.; Birtic, S.; Adkins, S.W. & Steadman, K.J. 2011. Wet-dry cycling extends seed persistence by re-instating antioxidant capacity. **Plant Soil 338**: 511-519.
- Martínez-Villegas, J.A.; Orozco-Segovia, A.; Sánchez-Coronado, M.E. & Pisanty, I. 2012. Germination of *Sedum oxypetalum* (Crassulaceae) in a primary lava-field shrubland. **Plant Ecology 213**: 871-881.
- Nicasio-Arzeta, S.; Sánchez-Coronado, M.E.; Orozco-Segovia, A. & Gamboa-deBuen, A. 2011. Efecto del preacondicionamiento y el sustrato salino en la germinación y el crecimiento de plántulas de maíz, (*Zea mays*) raza Chalqueño. **Agrociencia 45**: 195-205.
- Pammenter, N.W. & Berjak, P. 1999. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. **Seed Science Research 9**: 13-37.
- Pedrero-López, L.V. 2011. Introducción de plantas de *Dodonaea viscosa* al Parque Ecológico de la Ciudad de México con la aplicación de tratamientos robustecedores y silos de agua, con fines de restauración ecológica. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.
- Pinho, D.S.; Lima, E.; Borges, E.E. & Pontes, C.A. 2010. Avaliação da viabilidade e vigor de sementes de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. submetidas ao envelhecimento acelerado e ao osmocondicionamento. **Revista Árvore 34**: 425-434.
- Sánchez, J.A.; Muñoz, B. & Montejo, L. 2003. Efectos de tratamientos robustecedores de semillas sobre la germinación y establecimiento de árboles pioneros bajo condiciones de estrés. **Ecotrópicos 16**: 91-112.
- Sánchez, J.A.; Reino, J.; Muñoz, B.; González, Y.; Montejo, L. & Machado, R. 2005. Efecto de los tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación, la emergencia y el vigor de plántulas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. **Pastos y Forrajes 28**: 209-220.

- 
- Sánchez, J.A.; Muñoz, B.; Hernández, L.; Montejó, L.; Suárez, A.G. & Torres, Y. 2006. Tratamientos robustecedores de semillas para mejorar la emergencia y el crecimiento de *Trichospermum mexicanum* árbol tropical pionero. **Agronomía Costarricense 30**: 7-26.
- Tonin, G.A.; Gatti, A.B.; Carelli, B.P. & Perez, S.C.J.G.A. 2005. Influência da temperatura de condicionamento osmótico na viabilidade e no vigor de sementes de *Pterogyne nitens* Tull. **Revista Brasileira de Sementes 27**: 35-43.
- Vargas-Pinedo, G.J. & Kossmann-Ferraz, I.D. 2008. Hidrocondicionamiento de *Parkia pendula* (Benth ex Walp): Sementes com dormencia física de árvore da Amazônia. **Revista Árvore 32**: 39-49.
- Vieira, C.V.; Amaral da Silva, E.A.; Alves de Alvarenga, A.; de Castro, E.M. & Toorop, P.E. 2010. Stress-associated factors increase after desiccation of germinated seeds of *Tabebuia impetiginosa* Mart. **Plant Growth Regulation 62**: 257-263.

# CONTROL DE LA FOTOSÍNTESIS EN ESPECIES XERÓFITAS DURANTE DÉFICIT HÍDRICO: ¿DIFUSIÓN O METABOLISMO?

**Wilmer Tezara**

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Biología Experimental, Centro de Botánica Tropical, Laboratorio de Ecofisiología de Xerófitas, Caracas, Venezuela.

[wilmer.tezara@ciens.ucv.ve](mailto:wilmer.tezara@ciens.ucv.ve)

Uno de los posibles escenarios del cambio climático global predice un incremento en las concentraciones ambientales de  $\text{CO}_2$  ( $C_a$ ) con aumentos significativos en la temperatura del planeta, lo cual podría alterar los patrones de nubosidad y de precipitación, causando la aparición de nuevas zonas áridas o desertificadas a nivel mundial (IPCC 2007; Houghton *et al.* 2001). Además de limitar la productividad en muchos ecosistemas terrestres, el déficit hídrico (DH), en conjunto a altas radiaciones y temperaturas elevadas influenciará la distribución y abundancia de muchas especies (Schulze *et al.* 1987), aún cuando las plantas se encuentren bien adaptadas a condiciones áridas.

Por esta razón, es importante evaluar los mecanismos de resistencia o tolerancia de plantas tropicales a factores ambientales estresantes y aún más cuando los modelos climáticos consideran que la vegetación tropical es muy vulnerable a cambios climáticos, particularmente al DH, con consecuencias trascendentes para el clima del planeta.

La información existente sobre las limitaciones fisiológicas y recuperación de la fotosíntesis (A) en respuesta a diferentes intensidades, duración y tasa de imposición de DH es insuficiente. La respuesta de las plantas a la sequía podría tener un papel importante en la protección de la vegetación natural en áreas donde la disponibilidad hídrica es limitante. En general, el DH causa respuestas en las plantas que involucran una interacción compleja de procesos físicos y metabólicos en células, tejidos y órganos (Lawlor & Tezara 2009).

En esta contribución se discute el efecto del DH sobre la capacidad fotosintética en condiciones naturales e invernaderos de especies tropicales evaluando *in vivo* la limitación estomática relativa ( $L_s$ ) y la limitación no-estomática relativa ( $L_{ns}$ ) de A, a través de las curvas A *versus* la concentración intercelular de  $\text{CO}_2$ ;  $C_i$  ( $A/C_i$ ). Además, se evaluarán los cambios estacionales de la conductancia estomática ( $g_s$ ); eficiencia instantánea de uso de agua (EUA); potencial hídrico ( $\Psi$ ); variables bioquímicas (componentes no estomáticos o metabólicos, tales como la concentración de proteína soluble foliar (PST), el contenido de Rubisco (ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa oxigenasa) y clorofilas) y la actividad fotoquímica del PSII (tasa de transporte de electrones (J); eficiencia cuántica relativa del PSII, ( $\Phi_{PSII}$ ); coeficiente de extinción fotoquímica ( $q_p$ ) y coeficiente de extinción no fotoquímica ( $q_N$  o NPQ).

Según el modelo del estado estable de la A en las hojas intactas de plantas C3 (Faquhar *et al.* 1980; von Caemmerre 2000), se han identificado tres grandes etapas metabólicas importantes para un rendimiento fotosintético óptimo:

1. Actividad de la Rubisco.
2. Regeneración de la ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP).
3. Tasa de utilización de las triosas-fosfatos (TPU).

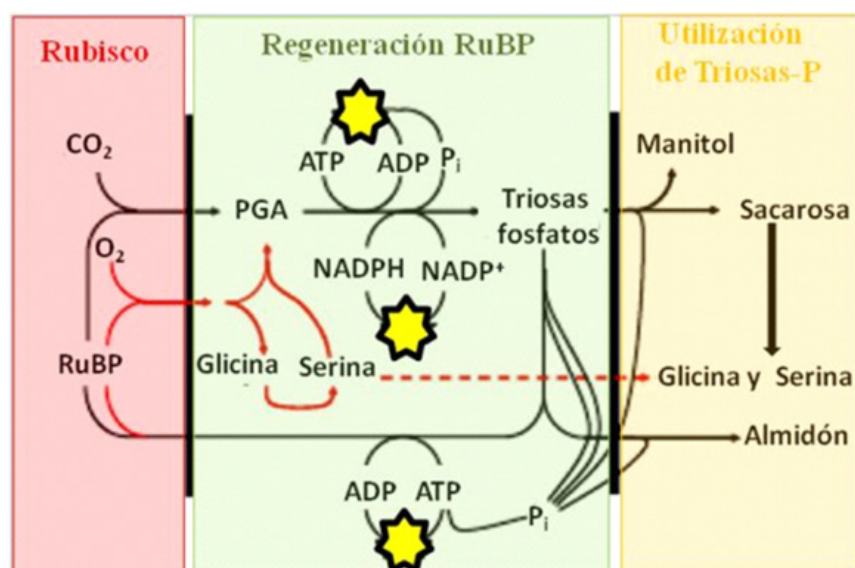
El modelo del estado estable de la A se usa frecuentemente para comprender como la A de las plantas  $C_3$  responde a algunas perturbaciones, considerando que las reacciones bioquímicas de la A ocurren en tres etapas sucesivas. En la primera etapa la tasa de carboxilación se puede predecir dada las propiedades de Rubisco, suponiendo una saturación de la enzima por el sustrato (RuBP) (Fig. 1, columna en color rojo); esta etapa está limitada por Rubisco y normalmente ocurre a bajas  $[CO_2]$ . En la siguiente etapa, el factor que limita la A es la regeneración de RuBP, esto ocurre en elevadas  $[CO_2]$  y se le llama zona limitada por RuBP (Fig. 1, columna en color verde); en la zona limitada por RuBP la carboxilación se ve favorecida frente a la oxigenación porque el incremento en la  $[CO_2]$  promueve una mayor carboxilación de RuBP (Sharkey *et al.* 2007). La tercera etapa, el factor que limita la tasa de A es la tasa de utilización las triosas-P (Fig. 1, columna en color amarillo).

La curva de respuesta de A a  $C_i$  ( $A/C_i$ ) ha sido una de las herramientas más útiles en el estudio de la A en una variedad de especies (von Caemmerer 2000). Por muchos años se han utilizado las curvas  $A/C_i$  como una herramienta importante en la determinación del efecto que tiene el DH sobre varios aspectos metabólicos de la fotosíntesis.

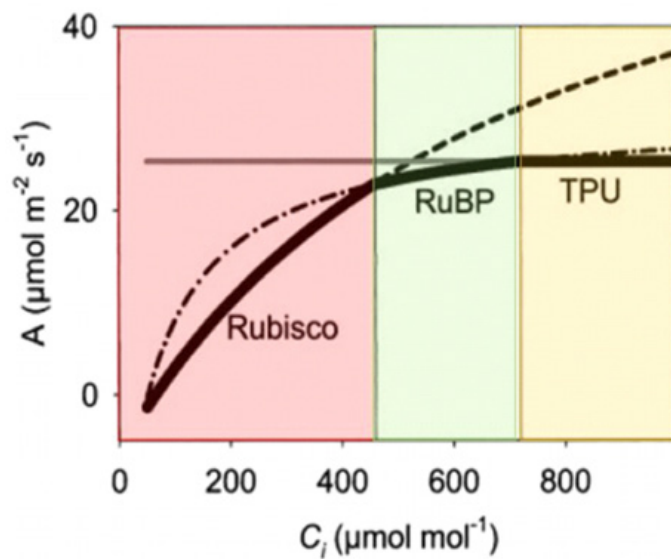
La curva  $A/C_i$  define la función demanda de la A, determinada por una hipérbola rectangular (Fig. 2). Esta curva de respuesta a  $C_i$  consta de tres fases: 1) la primera está determinada por la pendiente de la porción lineal de la curva, la cual está limitada por la cantidad y/o actividad de Rubisco ( $CO_2$ -limitada y RuBP saturada; generalmente ocurre a bajas  $[CO_2]$  ( $\leftarrow 200 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ), 2) limitada por la tasa de regeneración RuBP (suponiendo J constante; se produce normalmente a  $[CO_2]$  ( $\rightarrow 300 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ) y 3) limitada por la tasa de utilización de las TPU a altas  $[CO_2]$  ( $\rightarrow 700 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ). A elevadas  $[CO_2]$  la tasa de fotosíntesis se satura obteniéndose la A potencial ( $A_{pot}$ ) y esto es proporcional a la tasa máxima del transporte de electrones ( $J_{max}$ ).

Las curvas  $A/C_i$  permiten calcular las magnitudes de las limitaciones estomáticas;  $L_s$  (Farquhar & Sharkey 1982) y no-estomáticas (metabólicas);  $L_{ns}$  (Jacob & Lawlor 1991) relativas de la fotosíntesis (Fig. 3) y evaluar así la contribución de  $g_s$  y/o factores metabólicos sobre la regulación de A. Jacob & Lawlor (1991) definen  $L_{ns}$  como la reducción proporcional de  $A_{pot}$  de plantas sometidas a estrés en comparación con controles no estresados.

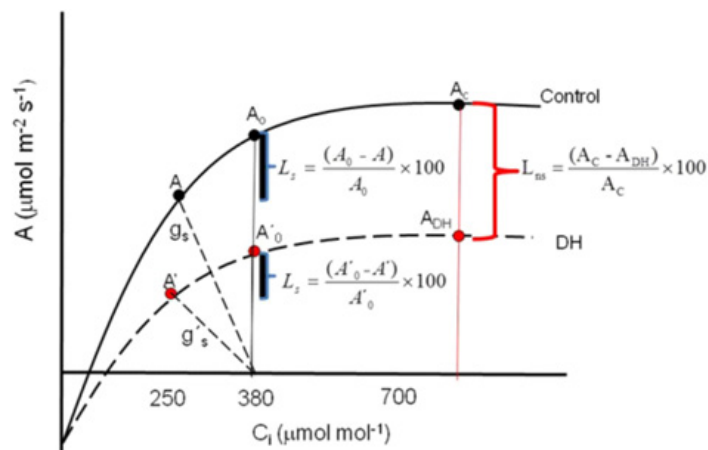
Existe una gran controversia sobre los mecanismos mediante los cuales el DH disminuye A (Lawlor & Cornic 2002). Se han sugerido principalmente tres mecanismos de regulación durante el



**Figura 1.** Esquema donde se muestran algunos de los procesos metabólicos que afectan la fotosíntesis (Modificado de Sharkey *et al.*, 2007). Rubisco, ribulosa 1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa.

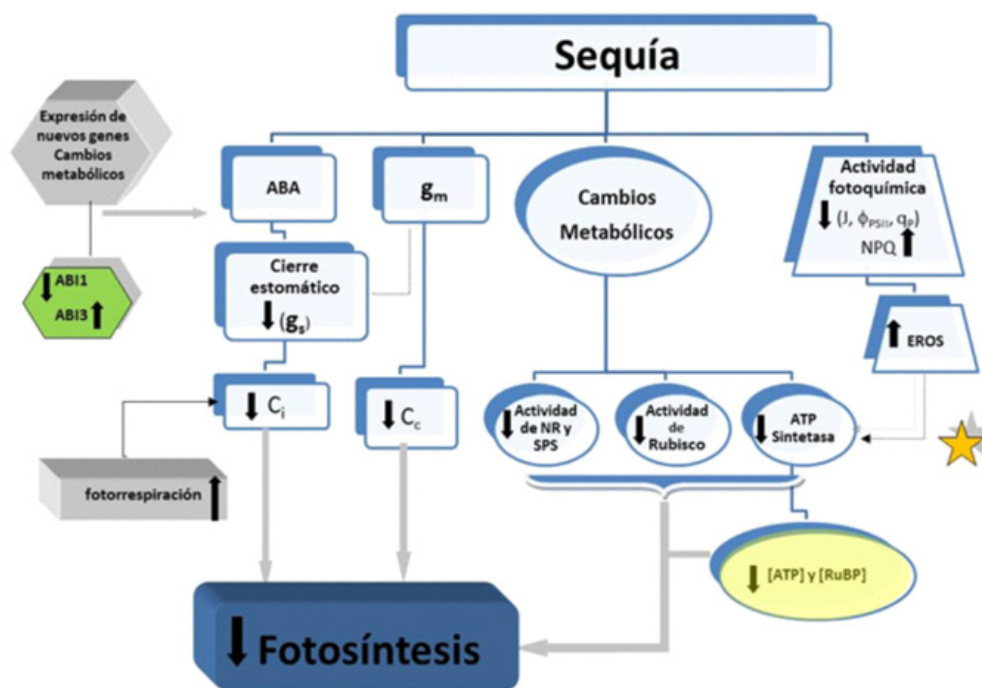


**Figura 2.** Curva  $A/C_i$ . Modelo para la aclimatación a la disponibilidad de  $CO_2$  (línea continua gruesa). Tasa de fotosíntesis limitada por Rubisco (línea quebrada). Tasa de fotosíntesis limitada por la tasa de regeneración RuBP (línea punteada). Tasa de fotosíntesis limitada por la utilización de las triosas-fosfatos (línea continua delgada).



**Figura 3.** Curva  $A$  vs  $C_i$  (función demanda) y función suministro en plantas en buena condición hídrica o control (línea continua) y en plantas sometidas a déficit hídrico (línea quebrada). Se muestran las ecuaciones para calcular la limitación estomática relativa ( $L_s$ ) y la limitación no-estomática ( $L_{ns}$ ). Se señalan:  $A$ ,  $A'$ , representan la fotosíntesis a  $C_i$  operacional (aprox.  $270 \mu\text{mol mol}^{-1}$ );  $A_0$ ,  $A'_0$ , representan las tasas de fotosíntesis a  $g_s$  infinita cuando ( $C_i = C_a$ ) y  $A_c$ ,  $A_{DH}$  representan la fotosíntesis a  $[CO_2]$  saturante ( $A_{pot}$ ) de las plantas control y en déficit hídrico.

desarrollo del DH (Fig. 4): 1) reducción en la difusión de  $CO_2$  debido a una disminución en  $g_s$  (Cornic 2000) y/o 2) disminución en la conductancia interna mesofilar ( $g_m$ ) al transporte de  $CO_2$  hasta el sitio de carboxilación de Rubisco en el cloroplasto a través de la pared celular, el plasmalema y la membrana del cloroplasto (Flexas *et al.* 2008) y 3) reducción del metabolismo fotosintético por cambios en la síntesis de ATP, regeneración de RuBP, actividad y/o cantidad de Rubisco (Tezara *et al.* 1999; 2002; 2008) y descenso de la actividad fotoquímica del PSII:  $J$ , eficiencia cuántica máxima ( $F_v/F_m$ ) y  $\Phi_{PSII}$  (Lawlor & Cornic 2002; Tezara *et al.* 2003, 2005; Tezara *et al.* 2008), contribuyendo con la disminución de  $A$ . Por lo tanto, cambios en  $L_{ns}$  podrían reflejar cambios en parámetros tales como fluorescencia de la clorofila  $a$  y en la eficiencia de carboxilación (EC) entre otros (Tezara *et al.* 2003, 2005, 2011; González *et al.* 2009).



**Figura 4.** Relación de la fotosíntesis con los cambios difusivos y metabólicos con déficit hídrico en especies tropicales de ecosistemas semiáridos.

El cierre estomático causa una disminución en la  $C_i$ , permitiendo un ajuste a las nuevas condiciones (Fig. 4). Entre los ajustes que se presentan están: 1) expresión de genes (incremento en la concentración del ácido abscísico [ABA], 2) disminución de  $\Phi_{PSII}$  debido a un incremento de la disipación térmica de energía de excitación (NPQ) (Tezara *et al.* 2008; 2010), 3) incremento en la incorporación de  $O_2$  (fotorrespiración, FR) con respecto a la incorporación neta de  $CO_2$  (Lawlor & Tezara 2009), 4) descenso en la actividad de dos de las enzimas claves de la fotosíntesis como son la nitrato reductasa (NR) y la sacarosa fosfato sintetasa (SPS) (Cornic 1994) y 5) disminución en la ATP sintetasa lo que trae como consecuencia un descenso en la producción de ATP, limitándose la regeneración RuBP en el ciclo de Calvin (Tezara *et al.* 1999; Lawlor & Tezara 2009).

Bajo DH, los estomas se cierran y la  $g_m$  limita el flujo de  $CO_2$  hacia el ciclo de Calvin, lo que conlleva a la escasez de aceptores de electrones y la disminución de  $J$ , incluso si la FR aumentase en proporción de la reducción de asimilación de  $CO_2$  y consumiese relativamente más electrones. El exceso de excitación en las antenas y PSII, a través de la  $[H^+]$  en el tilacoide, causa la activación de violaxantina de-epoxidasa, que convierte la energía de excitación en calor por extinción no fotoquímica. El exceso de energía conduce a la reducción de  $O_2$  y la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), que se pueden acumular suficientemente como para dañar los componentes celulares. Lawlor & Tezara (2009) señalan que existen evidencias de que las ROS, mediante un efecto similar al "fotoinhibitorio", podrían dañar a la ATP sintetasa y por tanto el contenido de ATP disminuye progresivamente con el DH. La disminución de ATP limita la producción de RuBP por el ciclo de Calvin y así la tasa de fotosíntesis a  $CO_2$  saturante ( $A_{pot}$ ). También, baja [ATP] disminuye la síntesis de proteínas y disminuye la capacidad de la célula para reparar el daño causado por ROS y afecta a la regulación del transporte de iones.

La actividad fotoquímica en plantas C3 no se afecta sino a DH extremos. Sin embargo, en plantas sometidas a DH se observan bajas tasas de A y mantenimiento o disminución de la FR, lo cual provee un pequeño sumidero de electrones, pudiéndose ocasionar una sobreenergización de

la transducción de energía. A pesar de un incremento en NPQ, el exceso de energía y de electrones podría generar ROS.

Inicialmente la  $C_i$  y la concentración de  $CO_2$  en el cloroplasto ( $C_c$ ) disminuyen y luego aumentan a medida que incrementa el DH (Lawlor & Tezara 2009). La determinación de  $C_c$  y de  $g_m$  es difícil e incierta. Valores precisos de  $C_c$  son esenciales para el conocimiento del metabolismo fotosintético y se requieren para el cálculo correcto de  $g_m$ . En la literatura se han criticado los métodos para evaluar  $C_c$  y por tanto  $g_m$ . Todos los métodos se basan de suposiciones similares que tienden a llevar a interpretaciones erróneas (Lawlor & Tezara 2009). Los métodos de transporte de electrones (J) constante o variable son ampliamente utilizados para calcular  $C_c$ . El transporte de electrones distribuido hacia carboxilación y oxigenación junto con el factor de especificidad de la Rubisco permiten el cálculo de  $C_c$ . Sin embargo, la fluorescencia de la clorofila de los cloroplastos es medida cerca de la superficie y no representa a la población dentro de la hoja, por lo que se sobreestima el transporte de electrones (Tezara *et al.* 2008; Lawlor & Tezara 2009). Además son necesarios los valores de absortividad foliar ( $a$ ) y proporción de electrones distribuidos hacia cada fotosistema ( $f$ ).

El  $\Psi$  disminuye con la sequía en todas las formas de vida estudiadas en ecosistemas xerofíticos (Tezara *et al.* 2010). La reducción del  $\Psi$  en los arbustos caducifolios y hierbas puede ser resultado de un sistema radical menos profundo, en comparación con los árboles y arbustos siempreverdes y árboles caducifolios que probablemente exploran horizontes más profundos. Los menores valores de  $\Psi$  durante el período seco fueron el resultado del desarrollo de ajuste osmótico tanto en la hierba perenne caducifolia *Alternanthera crucis*, como en el arbusto caducifolio *Lycium nodosum* (Tezara *et al.* 2003).

La disminución de  $A$  con un descenso en  $\Psi$  es común para muchas especies xerofitas tropicales (Tezara *et al.* 2003, 2011; Lawlor & Tezara 2009). De todas las formas de vida, los arbustos caducifolios *Ipomoea carnea* y *Jatropha gossypifolia* fueron los más sensibles al DH (Tezara *et al.* 1998, 2005). Las mayores  $A$  fueron observadas en el arbusto siempreverde *Calotropis procera* con alta capacidad fotosintética (Colombo *et al.* 2007; Tezara *et al.* 2011).

El DH causa una disminución en la EC en las especies xerofitas que han sido estudiadas. En algunas especies  $L_s$  incrementó 10%, mientras que en otras disminuyó; sin embargo, se observó que  $L_{ns}$  incrementó 57% durante el desarrollo del DH, indicado que los factores no estomáticos (metabólicos) se hacen más importantes que las limitaciones difusivas durante la sequía (Tezara *et al.* 2003, 2005, 2011).

La alta correlación entre  $A$  y  $g_s$  de las diferentes formas de vida sugiere que en muchas especies la  $A$  podría estar co-limitada por factores estomáticos y no estomáticos en respuesta al DH (Tezara *et al.* 2003, 2011).

Se observó en *Helianthus annuus*, *I. carnea* y *J. gossypifolia* que  $A$  fue afectada por la disminución de  $g_s$  (Tezara *et al.* 1998, 2008). Mientras que en *A. crucis* (Tezara *et al.* 1998), *L. nodosum* (Tezara *et al.* 2003), *C. procera*, *C. gigantea* (Tezara *et al.* 2011) y *Lantana camara*, *L. caracasana* y *L. canescens* (González *et al.* 2009) se observó co-limitación de  $A$ , es decir, una regulación coordinada de los componentes estomáticos y no estomáticos.

El DH no sólo afecta a  $g_s$  sino también a la fotosíntesis a nivel mesofilar (Tezara *et al.* 1999, 2008, 2011). Existen evidencias de que la sequía afecta el metabolismo reduciendo la capacidad fotosintética (Lawlor & Cornic 2002; Tezara *et al.* 1999, 2008, 2011).

Un incremento en  $L_{ns}$  puede ser producto de los cambios en EC y en  $A_{pot}$  así como en los parámetros de fluorescencia  $J$ ,  $\Phi_{PSII}$  y  $q_p$  (Tezara *et al.* 2003, 2005, 2011). En todas las especies la sequía causó una drástica disminución de  $A_{pot}$  y EC, sugiriendo que la cantidad y/o actividad de Rubisco pudo verse afectada por la sequía, lo cual puede contribuir con el incremento en  $L_{ns}$  (Tezara *et al.* 1998, 2003, 2005).



El DH causó una reducción de  $A$  que estuvo asociada a una disminución en  $g_s$  y afectó la actividad fotoquímica en *H. annuus*. La  $F_v/F_m$  no fue afectada por el DH, mientras que  $\Phi_{PSII}$  y  $q_p$  disminuyeron y el exceso de energía fue disipado por un aumento en el  $q_N$ , indicando que una gran proporción de energía fue disipada como calor. El DH no afectó la concentración de los nucleótidos de piridina pero disminuyó el contenido de ATP (Tezara *et al.* 2008). Se encontró una relación negativa entre  $q_N$  y la [ATP]. A pesar de la reducción de  $g_s$ , se observó constancia en la relación  $C_i/C_a$  y una disminución en el contenido de ATP sugiriendo daño metabólico. Bajos valores de  $J$  y de  $\Phi_{PSII}$  durante el DH indican que el sistema fotoquímico fue regulado descendientemente sin que ocurriera fotoinhibición.

Dos arbustos caducifolios (*I. carnea* y *J. gossypifolia*) mostraron una reducción significativa de  $F_v/F_m$  indicando la posible existencia de fotoinhibición en estas xerófitas (Tezara *et al.* 2005), por el contrario en *L. nodosum*, *C. procera*, *C. gigantea*, *L. camara*, *L. caracasana* y *L. canescens* permaneció en valores alrededor de 0.8, indicando ausencia de fotoinhibición (Tezara *et al.* 2003, 2011; González *et al.* 2009). Esto sugiere que la fotoinhibición no es un fenómeno universal en especies sometidas a DH.

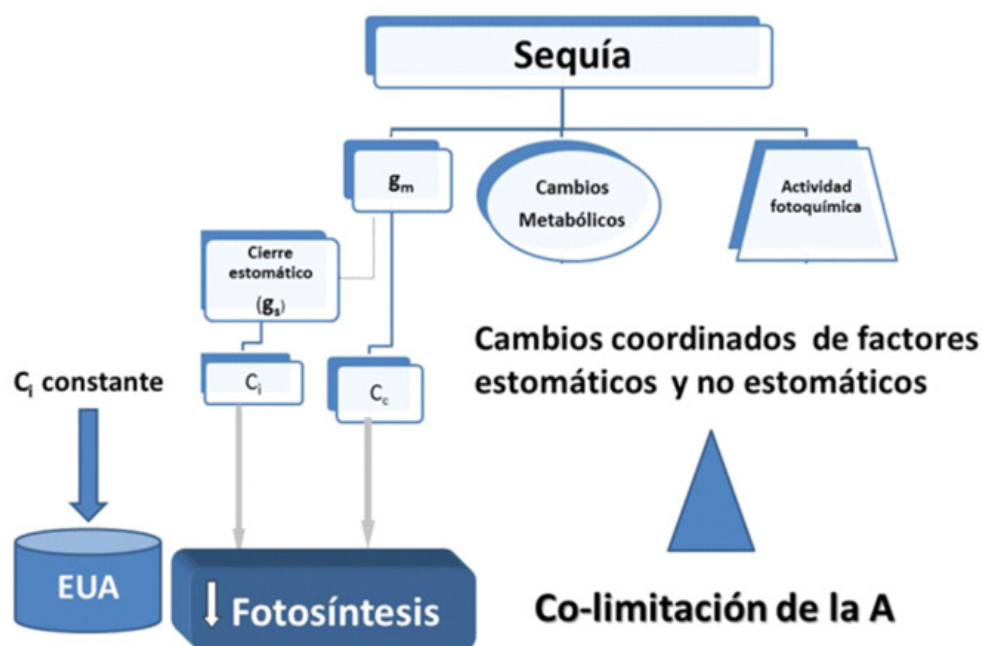
Las reducciones observadas en  $\Phi_{PSII}$ ,  $J$ ,  $q_p$  y CE podrían explicar parcialmente el incremento en  $L_{ns}$  durante el DH. Las disminuciones en  $J$  pueden contribuir con el incremento en  $L_{ns}$  a través de una disminución en los contenidos de ATP y/o RuBP (Lawlor & Cornic 2002; Tezara *et al.* 1999) ya que en las curvas  $A/C_i$ ,  $A_{pot}$  es equivalente a la máxima tasa de regeneración de RuBP y al máximo  $J$  (Farquhar *et al.* 1980). Se concluye que ocurrió una regulación descendente de la actividad fotoquímica del fotosistema II, causando fotoinhibición en algunos casos, la cual es una importante limitación de la asimilación de carbono en sequía (Tezara *et al.* 2003, 2005).

## Conclusión

Al estudiar los mecanismos de regulación de la fotosíntesis en diferentes especies tropicales se encontró que si bien ocurre una disminución de la  $g_s$ , la regulación no-estomática (metabólica) de la fotosíntesis tiene un peso importante (Fig. 5). Además, factores tales como la capacidad de funcionamiento del PSII regulan la fotosíntesis en condiciones de déficit hídrico. Reducciones en la eficiencia cuántica y en el transporte de electrones sugieren que la actividad fotoquímica del PSII está regulada descendientemente, ocurriendo fotoinhibición en algunos casos. Para una conclusión definitiva sobre cuán limitantes son estos factores es necesario conocer los cambios en la capacidad del mesófilo fotosintético (cantidad de RuBP y ATP y actividad de Rubisco). Los resultados obtenidos sugieren que la fotosíntesis podría estar co-limitada por componentes estomáticos y no-estomáticos, de manera que ambos mecanismos parecen operar coordinadamente para mantener  $C_i$ , optimizando la eficiencia de uso de agua (Fig. 5).


## Referencias

- Colombo, R.; Marín, O.; Irazábal, S. & Tezara, W. 2007. Relaciones hídricas, fotosíntesis y anatomía foliar de dos especies del género *Calotropis*. **Interciencia** **32**:791-796
- Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science** **5**: 187-188
- Cornic, G. 1994. Photoinhibition of Photosynthesis. Bios Scientific Publishers, Oxford pg. 297-313.
- Farquhar, G.D.; von Caemmerer, S. & Berry, J.A. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C3 species. **Planta** **149**: 78-90.
- Farquhar, G.D. & Sharkey, T.D. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology** **33**: 317-345.



**Figura 5.** Co-limitación de la fotosíntesis: cambios coordinados difusivos, metabólicos y de la actividad fotoquímica con el déficit hídrico en especies xerófitas.

- Flexas, J.; Ribas-Carbó, M.; **Díaz-Espejo**, A.; Galmés, J. & Medrano, H. 2008. Mesophyll conductance to CO<sub>2</sub>: current knowledge and future prospects. **Plant, Cell and Environment** **31**: 602-621.
- González, A.; Villalobos, V.; Pereyra, G.; Rengifo, E.; Marin, O. & Tezara, W. 2009. Comparación ecofisiológica de tres especies del género *Lantana* (verbenaceae). **Acta Botánica Venezolana** **32** (2) 417-432.
- Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguier, M., van der Linden, P.J. & Xiaosu, D. (Eds.). 2001. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2007. **Fourth Assessment Report of Working Group I. Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Summary for Policymakers.
- Jacob, J. & Lawlor, D.W. 1991. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants. **Journal of Experimental of Botany** **42**: 1003-1011.
- Lawlor, D.W. & Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment** **25**: 275-294.
- Lawlor, D.W. & Tezara, W. 2009. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: A critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany** **103**: 561-579.
- Schulze, E.; Robichaux, R.; Grace, J.; Rundel, P. & Ehleringer, J. 1987. Plant water balance. **BioScience** **37**: 32-36.
- Sharkey, T.D.; Bernacchi, C.J.; Farquhar, G.D. & Singaas, E.L. 2007 In Practice: Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C3 leaves. **Plant, Cell & Environment** **30** (9): 1035-1040.
- Tezara, W.; Driscoll, S. & Lawlor, DW. 2008. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO<sub>2</sub> assimilation and O<sub>2</sub> reduction in sunflower plants under water deficit. **Photosynthetica** **46**: 127-134
- Tezara, W.; Marín, O.; Rengifo, E.; Martínez, D. & Herrera, A. 2005. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica** **43**: 37-45.
- Tezara, W.; Martínez, D.; Rengifo, E. & Herrera, A. 2003. Photosynthetic responses of the tropical spiny shrub *Lycium nodosum* (Solanaceae) to drought, soil salinity and saline spray. **Annals of Botany** **92**: 757-765
- Tezara, W.; Mitchell, V.J.; Driscoll, S.D. & Lawlor, D.W. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature** **401**: 914-917.

- 
- Tezara, W.; Fernández, M.D.; Donoso, C. & Herrera, A. 1998. Seasonal changes in photosynthesis and stomatal conductance of five plant species from a semiarid ecosystem. **Photosynthetica 35**: 399-410.
- Tezara, W., Urich, R., Coronel, I., Marín, O. & Herrera, A. 2010. Asimilación de carbono, eficiencia de uso de agua y actividad fotoquímica en xerófitas de ecosistemas semiáridos de Venezuela. **Ecosistema 1**: 67-78.
- Tezara, W.; Colombo, R.; Coronel, I. & Marín, O., 2011. Water relations and photosynthetic capacity of two species of *Calotropis* in a semiarid ecosystem. **Annals of Botany 107**: 397 – 405.
- Tezara, W.; Mitchell, V.; Driscoll, S. & Lawlor D.W. 2002. Effects of water deficit and its interaction with CO<sub>2</sub> supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. **Journal Experimental Botany 53**: 1781-1791.
- von Caemmerer, S. 2000. Biochemical models of leaf photosynthesis. Pp. . In: **Techniques in Plant Sciences N°2**. CSIRO Publishing Australia.

# ECOFISIOLOGÍA DE HELECHOS DEL BOSQUE NUBLADO

**Oscar Briones & Karolina Riaño**

Instituto de Ecología, Veracruz, México.  
[oscar.briones@inecol.mx](mailto:oscar.briones@inecol.mx); [krospina@gmail.com](mailto:krospina@gmail.com)


## Introducción

En este capítulo se revisan las investigaciones ecofisiológicas realizadas con helechos arborescentes y epifitos y del bosque nublado del centro de México. Parámetros ecofisiológicos asociados con la fotosíntesis y estado hídrico del agua indican que los helechos arborescentes son especies de sombra y las especies menos tolerantes a la sombra ocupan sitios relativamente abiertos del dosel. El comportamiento fisiológico de los helechos epifitos también corresponde a plantas de sombra y está relacionado con el microhábitat que ocupan preferentemente en el esporofito. Las especies epifitas más tolerantes a la sombra y sensibles a la sequía ocupan sitios sombreados e inferiores del dosel, mientras que las especies tolerantes a mediana sombra son más tolerantes a la sequía y habitan zonas intermedias. Las especies epifitas que ocupan las partes expuestas y altas de la copa muestran un comportamiento poiquilohídrico.

El bosque nublado o bosque tropical nublado de montaña es un bosque siempre verde que se distribuye en forma fragmentada en las montañas en latitudes tropicales, con altos niveles de precipitación y alta frecuencia de nubes y rocío. La altitud de formación de nubes y con ello la del bosque nublado, es variable pues depende del clima, distancia al mar y macro y micro topografía local, pudiendo oscilar aproximadamente entre 1000 y 3500 m s.n.m. (Foster 2001).

Los helechos arborescentes constituyen un grupo conspicuo en los ecosistemas tropicales, subtropicales y regiones templadas del sur del mundo, con alrededor de 600 especies de las cuales aproximadamente 500 pertenecen a la familia Cyatheaceae (Korall *et al.* 2007). Los helechos arborescentes son ecológicamente importantes en el sotobosque en donde habitan, porque pueden ser abundantes y afectar la regeneración de los árboles, influenciar los ciclos de nitrógeno y fósforo y hospedar en sus troncos una alta diversidad de epifitas (Mehltreter *et al.* 2010; Bystriakova *et al.* 2011). Por otro lado, las epifitas vasculares son elementos característicos de los bosques húmedos tropicales y los helechos y las orquídeas suelen ser un grupo dominante entre las epifitas del bosque nublado (Hietz & Hietz-Seifer 1995). Las plantas epifitas representan una proporción sustancial de la biomasa y juegan un papel importante en la hidrología del bosque, influyen en el ciclo de nutrientes y facilitan la vida de los animales en el dosel (Zotz & Bader 2009). Se ha estimado que las epifitas representan 32% de las 2500 especies de plantas vasculares registradas para el bosque nublado en México, superando en importancia numérica a cualquier otra forma de vida vegetal en el bosque (Rzedowski 1996).

Actualmente, los helechos enfrentan una amenaza sin precedente debido al cambio global, haciéndose cada vez menos abundantes y localmente extintos (Mehltreter *et al.* 2010). Además del cambio climático, los cambios en el uso de la tierra a través de la conversión del bosque a tierras agrícolas, remoción selectiva de especies (especies maderables y ornamentales) y aclaramiento del bosque afectarán adversamente a los helechos terrestres y epifitos del bosque nublado (Foster 2001; Zotz &



Bader 2009). Los cambios en la precipitación y la temperatura amenazan a todos los ecosistemas, pero los cambios estimados en la reducción en la formación de nubes amenazan particularmente al bosque nublado (Foster 2001). Indudablemente el cambio climático afectará al bosque nublado, pero el ecosistema no cambiará a nuevas zonas climáticas como una unidad debido a que esta compuesto por muchas especies y cada una responderá al cambio climático de manera particular. Por ello una tarea importante es conocer las respuestas fisiológicas de las plantas a las condiciones ambientales en donde habitan, pues la información comúnmente utilizada para modelar la distribución actual y potencial de las especies se realiza con valores promedios del clima y sin tomar en cuenta las condiciones del microhábitat, que pueden diferir sustancialmente del clima regional. Una alternativa para manejar el nivel de complejidad del bosque es agrupar a las especies en categorías ecológicas o grupos funcionales, relacionando su distribución con el clima actual (Larcher 2003).

Diversos autores han realizado contribuciones para reconocer grupos funcionales en los helechos. A mediados del siglo pasado, los helechos de Singapur y Malasia fueron divididos de acuerdo en el hábitat en donde crecen en terrestres de sol, terrestres de sombra, de rocas, de orillas de cañadas, acuáticos y de montaña (Holtum 1954). Los estudios sobre la tolerancia a la sombra de los helechos terrestres han mostrado que puede ser un carácter diferencial entre especies (Durand & Goldstein 2001; Bystriakova *et al.* 2011; Jones *et al.* 2007; Riaño & Briones 2013; pero ver Volkova *et al.* 2010). En el sotobosque de los bosques tropicales de montaña la intensidad de la luz es uno de los factores del ambiente más importantes que influyen en la abundancia, crecimiento y supervivencia de las plantas con raíces en el suelo. La presencia de diferentes ambientes lumínicos ocasionados por la caída de árboles y bordes del bosque favorece la coexistencia de especies con distintos requerimientos de luz. Los claros del dosel incrementan el establecimiento de las plántulas y la densidad de los juveniles, pero el efecto no es igual entre las especies (Hubell *et al.* 2005). En general las plantas de ambientes sombreados, conocidas como plantas de sombra, poseen baja plasticidad en respuesta a los cambios en el ambiente lumínico, en comparación con las plantas de ambientes soleados o plantas de sol. Las plantas tolerantes a la sombra muestran bajas tasas fotosintéticas y de respiración y son de lento crecimiento, mientras que las plantas más demandantes de luz muestran mayores tasas fotosintéticas y de respiración y son de rápido crecimiento (Larcher 2003; Poorter & Arets 2003).

Los autores que han descrito la distribución de epifitas en los bosques tropicales han reportado que las especies prefieren diferentes zonas en el esporofito. Dichas zonas se distinguen por su altura con respecto al suelo y características de las ramas de los árboles, tales como grosor, inclinación y composición del substrato acumulado sobre la corteza (Hietz & Hietz-Seifert 1995; Kelly 1985; Johansson 1974; Rudolph *et al.* 1998, ter Steege & Cornelissen 1989; Hietz & Briones 1998). Generalmente, la velocidad del viento, temperatura, oscilación térmica, luz, déficit de presión de vapor y proporción rojo:rojo lejano decrecen de la parte superior del dosel al piso del bosque, mientras que la humedad relativa se incrementa (Parker 1995). La mayor cantidad de materia orgánica muerta y de briofitas, que almacenan agua y nutrientes utilizables por las epifitas, se encuentra hacia las ramas más interiores (Ingram & Nadkarni 1993). La variación en los factores mencionados ocasiona que el estrés hídrico para las epifitas comúnmente sea más severo en las ramas delgadas y parte superior de la copa del árbol. La caída de ramas, fragmentos de corteza y árboles completos provocan una gran inestabilidad espacial y ocasionan altas frecuencias de disturbio, que favorecen la coexistencia de las especies al impedir que algunas epifitas crezcan encima y desplacen a otras. Con respecto a la humedad, las epifitas han sido agrupadas en poiquilohídricas y homoídricas higrofitas, mesófitas y xerófitas que toleran la sequía o que la evaden (Benzig 1990). Con relación a la luz las epifitas han sido agrupadas como expuestas con exposición total o casi así al sol, de sol con crecimiento en media sombra y sombra y tolerantes a la sombra profunda (Pittendrigh 1948; Benzig 1990). Aunque la frecuencia de especies epifitas es más alta en el grupo de las especies tolerantes a mediana sombra y que ocupan una posición intermedia dentro de la copa del esporofito, la mayoría de los estudios

ecofisiológicos se ha enfocado en las especies que habitan los sitios más expuestos de la copa y supe-  
stamente más estresantes (Zotz & Hietz 2001).

## Distribución

Los helechos arborescentes *Alsophila firma*, *Cyathea divergens* y *Lophosoria quadripinnata* per-  
tenecen al tipo de especies tolerantes a la sombra (Poorter & Arets 2003). El helecho *A. firma* es la  
especie más tolerante a la sombra en el sotobosque del bosque nublado, con 87% de los individuos  
en sitios con 1-4% de la luz relativa a un sitio totalmente expuesto. *L. quadripinnata* es la especie  
menos tolerante a la sombra, con 79% de las plantas en sitios con 4.1-30% de luz. *C. divergens* ocupa  
una posición intermedia en el gradiente de luz, con 86% de las plantas en sitios con 2.1-9% de luz  
(Riaño & Briones 2013).


La distribución de la biomasa de las especies de helechos epifitos del bosque nublado es de-  
sigual en el forofito y permite clasificarlos con base a su aparente requerimiento lumínico (Pitten-  
drigh 1948). El tipo tolerante a la sombra profunda compuesto por el helecho película *Trichomanes  
bucinum* y *Asplenium cuspidatum* con 85-100% de la biomasa confinada a la base y corteza de los  
troncos. El tipo de sol o tolerante a mediana sombra conformado por *Elaphoglossum glaucum*, *E. pe-  
tiolatum*, *Phlebodium aerolatum* y *Polypodium puberulum* con 80-100% de su biomasa distribuida en la  
parte superior del tronco y ramas gruesas → 20 cm y medianamente gruesas → 5 cm de diámetro.  
El tipo de exposición esta compuesto por *Pleopeltis mexicana* y *Polypodium plebeium* con 70-95% de  
su biomasa sobre ramas relativamente gruesas de 5 a 20 cm y delgadas ← 5 cm de diámetro (Hietz  
& Briones 1998).

## Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso fisiológico fundamental para el crecimiento y la supervivencia de  
las plantas. En los bosques tropicales la luz es el factor ecológico que más influye en la distribución  
y abundancia de las plantas (Chazdon *et al.* 1993; Larcher 2003). La gran mayoría de los esporofitos  
de las especies de helechos utiliza el metabolismo  $C_3$ , pero algunas especies de helechos epifitos  
tropicales y subtropicales de las *Polypodiaceae* abren sus estomas durante la noche y utilizan el me-  
tabolismo CAM (Lüttge 2008). Pocos estudios existen sobre el intercambio de gases en el gametofito  
y en ellos se ha encontrado que utilizan el metabolismo  $C_3$ , aunque el gametofito es heterótrofo en  
algunas especies de helechos epifitos (Benzig 1990).

En el sotobosque de los bosques tropicales la habilidad de las plantas para capturar y utilizar  
la luz que logra atravesar el dosel y se distribuye de manera heterogénea en el sotobosque es esen-  
cial para su crecimiento y supervivencia, mientras que para las plantas epifitas las condiciones de  
luz, humedad y temperatura varían desde la casi total exposición al sol en la copa, hasta la sombra  
profunda en la base del tronco de los árboles. En las plantas terrestres la variación de los caracte-  
res foliares en respuesta a la luz puede ser diferente entre las especies y la plasticidad fenotípica es  
importante para explicar la coexistencia de las especies en el bosque nublado (Laurans *et al.* 2012).  
Aún en los bosques húmedos, la falta de suelo almacenador de agua ocasiona que para las plantas  
epifitas la sequía sea el principal factor que limita su crecimiento (Zotz & Hietz 2001).

La fotosíntesis máxima (Amax) de los helechos arborescentes y epifitos del bosque nublado es  
similar a las de plantas de sombra (Durand & Goldstein 2001; Larcher 2003; Hietz & Briones 2004;  
Lüttge 2008; Volkova *et al.* 2010; Riaño & Briones 2013). La Amax de los helechos arborescentes del  
bosque nublado es mayor a la Amax de musgos, similar a la de otras especies de helechos terrestres



que ocupan sitios cerrados y hojas de sombra de árboles deciduos y menor a la de helechos arborescentes del bosque húmedo, epifitas de sitios expuestos, árboles tropicales y herbáceas  $C_3$  y  $C_4$  (Tab. 1). La Amax de los helechos epifitos del grupo de sombra profunda del bosque nublado es similar a la de musgos, epifitas de sombra y helechos terrestres de sitios cerrados. La Amax del helecho película *H. bucinatum* es la más baja de los helechos epifitos del bosque nublado ( $0.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) pero la Amax dos especies europeas del género *Hymenophyllum* es similar a la de los helechos tolerantes a la sombra y de exposición (Proctor 2003). La Amax de los helechos epifitos del grupo de exposición del bosque nublado es similar a otras epifitas del mismo grupo. La Amax de los helechos epifitos de los grupos de exposición y tolerantes del bosque nublado es similar a la Amax de los helechos terrestres de sitios cerrados y hojas de sombra de árboles deciduos y tropicales. Un resultado similar se encontró en un estudio en un bosque lluvioso tropical en donde no se encontraron diferencias en Amax entre dos especies de helechos epifitos y dos especies de helechos terrestres no arborescentes cuando crecieron con riego y luz a saturación de  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Zhang *et al.* 2009).

La densidad de flujo fotónico a saturación de la fotosíntesis (PPFDsatA) de los helechos arborescentes del bosque nublado creciendo en sitio cerrado es similar a la de plantas de sombra, otros helechos terrestres y arborescentes de sitios cerrados y epifitas de sombra, indicando la eficiencia de los helechos arborescentes para absorber la escasa luz disponible y asimilar  $\text{CO}_2$  en los hábitats sombreados por el dosel (Durand & Goldstein 2001). La PPFDsatA de los helechos epifitos del bosque nublado es mayor al de plantas de sombra y helechos terrestres de sitios cerrados, pero el punto lumínico de compensación (LCP) de los helechos epifitos es similar al de ambos grupos. A pesar de su baja tasa fotosintética, posiblemente resultado de la escasez de nutrientes, los altos valores de PPFDsatA de los helechos epifitos del bosque nublado les permiten aprovechar altas cantidades de luz en las horas o zonas con luz elevada en la copa de los árboles. Por otro lado, los bajos valores de LCP de los helechos epifitos les facilitan asimilar carbono durante los frecuentes días nublados o cuando crecen en sitios sombreados dentro la copa. La PPFDsatA y LCP de *T. buccinatum* no han sido medidas en el bosque nublado, pero en *Hymenophyllum tunbrigense* y *H. wilsoni* la PPFDsatA osciló entre  $300 - 400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Proctor 2003) y el LCP osciló entre  $16 - 22 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Evans 1964, en Proctor 2003).

La cosecha cuántica máxima (Yo) de los helechos arborescentes del bosque nublado se encuentra en el valor óptimo para la mayoría de las plantas no estresadas (Yo = 0.83; Maxwell & Johnson 2000) y es similar a la de helechos arborescentes de bosque húmedo, helechos terrestres no arborescentes de bosque tropical y húmedo y helechos epifitos de bosque tropical (Durand & Goldstein 2001; Zhang *et al.* 2009; Huang *et al.* 2011), pero es un poco mayor a la de los helechos arborescentes de bosques húmedo esclerófilos (Volkova *et al.* 2010) (Tab. 2). Por otro lado, la Yo de las frondas no estresadas de los helechos epifitos del bosque nublado es escasamente menor a la de los helechos arborescentes del mismo bosque nublado y helechos epifitos del bosque lluvioso tropical (Zhang *et al.* 2009).

La tasa máxima aparente de transporte de electrones (ETRmax) de los helechos arborescentes del bosque nublado es baja en comparación a la de especies de ambientes con alta disponibilidad de luz, como bosques lluviosos semideciduos y costas arenosas (Geßler *et al.* 2005; Geßler *et al.* 2008) y helechos de sol (Wong *et al.* 2012); sin embargo, muestran valores similares a los valores más altos de ETR o ETRmax de plantas de sombra en ambientes con niveles de luz limitante, como helechos arborescentes y herbáceos del bosque templado lluvioso y bosque templado siempreverde (Bystriskova *et al.* 2010; Saldaña *et al.* 2010; Wong *et al.* 2012). Los valores de PPFD a saturación de ETR de los helechos arborescentes del bosque nublado ( $276 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en sitio cerrado;  $365 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en sitio abierto) son inferiores a los de especies de ambientes soleados (Geßler *et al.* 2005; Geßler *et al.* 2008; Riaño y Briones 2013), pero similares a los de tres especies del género *Blechnum* en dosel abierto o son mayores en dosel cerrado de bosque templado siempreverde (Saldaña *et al.* 2010).

**Tabla 1.** Puntos cardinales de la respuesta fotosintética de los helechos arborescentes y epífitos del bosque nublado y otros grupos de plantas estimados de mediciones de la asimilación de CO<sub>2</sub>. A<sub>max</sub> = tasa máxima de asimilación de CO<sub>2</sub>, PPFD<sub>satA</sub> = radiación fotosintéticamente activa a saturación de A, LCP = punto de compensación lumínica.

Grupo	A <sub>max</sub> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	LCP (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	PPFD <sub>satA</sub> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
Helechos arborescentes (Bosque nublado, México)			
Sitio cerrado	3.6 – 4.0		153 – 185
Sitio abierto	2.4 – 4.7		261 – 391
Helechos epífitos (Bosque nublado, México)			
Exposición	4.4 – 4.8	4.0 – 4.6	289 – 387
Tolerantes	2.5 – 5.2	4.0 – 6.6	267 – 547
Sombra profunda	0.6 – 2.6	6.5	300
Plantas de			
Sol	10 – 20	20 – 30	400 – 600
Sombra	1 – 3	0.5 – 10	60 – 200
Musgos	2 – 3	ca. 50	200 – 500
Epífitas			
Exposición	4 – 20	9 – 40	200 – 560
Sombra	1 – 4	6 – 13	77 – 180
Helechos terrestres			
Sitio cerrado	2 – 5	1 – 5	50 – 150
Sitio abierto	8 – 10	ca. 50	400 – 600
Helechos arborescentes (Bosque húmedo, Australia)			
Invierno	6 – 8		1100
Verano	12 – 14		1500
(Bosque húmedo, Hawaii)			
Sol	5.7 – 11.2	8.2 – 26.2	450
Sombra	3.4 – 7.1	5.2 – 14.5	300
Herbáceas			
C <sub>4</sub> , Sol	30 – 60	20 – 50	→ 1500
C <sub>3</sub> , Cultivos	20 – 40	20 – 40	1000 – 1500
Árboles deciduos			
Hoja de sol	10 – 15	20 – 50	600 – → 800
Hoja de sombra	3 – 6	10 – 15	200 – 500
Árboles tropicales			
Hoja de sol	10 – 16	15 – 25	600 – 1500
Hoja de sombra	5 – 7	ca. 10	200 – 300

Fuente: Larcher 2001; Hietz & Briones 2004; Lüttge 2008; Durand & Goldstein 2001; Volkova *et al.* 2010; Riaño & Briones 2013.



**Tabla 2.** Puntos cardinales de la respuesta fotosintética de helechos arborescentes y epífitos del bosque nublado y otras plantas estimados de mediciones de fluorescencia de la clorofila del fotosistema II.  $Y_o$  = cosecha cuántica (Fv/Fm) después de la adaptación en oscuridad de las hojas.  $ETR_{max}$  = tasa máxima aparente de transporte de electrones del PSII (o valor más alto de ETR en el estudio).

Grupo	$Y_o$	$ETR_{max}$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
Helechos arborescentes, bosque nublado (México)		
Sitio cerrado	0.83	30
Sitio abierto	0.85	33
Bosques húmedos y esclerófilos (Australia)		
<i>Dicksonia antarctica</i> , <i>Cyathea australis</i>		
Alta luz	0.72 – 0.73	
Luz moderada	0.75 – 0.78	
bosque húmedo (Hawaii)		
<i>Sphaeropteris cooperi</i> , <i>Cybotium chamissoi</i>		
Claro de bosque		35 – 70
Sotobosque		25 – 50
<i>C. menziessu</i> , <i>C. glaucum</i>		
Sol	0.78 – 0.83	
Sombra	0.79 – 0.84	
Bosque templado lluvioso (Nueva Zelanda)		
<i>Cyathea dealba</i> , <i>C. medullaris</i> , <i>C. cunninghamii</i> , <i>C. smithii</i> , <i>Dicksonia squarrosa</i>		
Helechos epífitos, bosque nublado (México)		
Exposición	0.76	
Tolerantes	0.76 – 0.79	
Sombra profunda	0.7 – 0.8	
Helechos epífitos, bosque tropical (China)		
<i>Neottopteris nidus</i> , <i>Microsorium punctatum</i>	0.84 – 0.85	
Helechos terrestres		
Bosque tropical (China)		
<i>Asplenium finlaysonianum</i>	0.86	
<i>Paraleptochilus decurrens</i>	0.86	
Bosque húmedo		
<i>Athyrium pachyphlebium</i>	0.83	35
Bosque		
<i>Pyrrosia lingus</i> , <i>Asplenium anticum</i>		
Sol		110 – 120
<i>Diplazium donianum</i> , <i>Archangiopteris somai</i>		
Sombra		20 – 25
Bosque templado (Chile)		
<i>Blechnum mochaenum</i> , <i>B. magellanicum</i> , <i>B. penna-marina</i>		
Dosel abierto		20 – 50
Dosel cerrado		8 – 10

Fuente: Volkova *et al.* 2010; Bystriakova *et al.* 2010; Durand & Goldstein 2001; Zhang *et al.* 2009; Huang *et al.* 2011; Wong *et al.* 2012; Saldaña *et al.* 2010.

## Relaciones hídricas

Debido a que los bosques nublados reciben altas cantidades de precipitación y frecuentemente están inmersos en neblina es posible pensar que las plantas de esos bosques nunca estén sometidas a estrés hídrico. Esto podría explicar el escaso número de publicaciones sobre las relaciones hídricas de las plantas terrestres del bosque nublado. Sin embargo, los bosques nublados muestran estacionalidad en el patrón de distribución anual de las lluvias con periodos relativamente secos. En un bosque nublado del centro de México con precipitación anual de 3,180 mm, casi 80% de la lluvia ocurre durante la estación húmeda (Mayo-Octubre) y el resto en la estación seca (Noviembre-Abril), aunque en esta última estación se observó la intercepción de agua de las nubes o “lluvia horizontal” por la vegetación (Holwerda *et al.* 2010). Los helechos terrestres y epifitos deben conseguir un balance adecuado entre la captura de CO<sub>2</sub> y la pérdida de agua a través del poro estomático o por permeación en las hojas y gametofitos carentes de estomas. Durante la época seca la disminución en disponibilidad del agua del suelo y la atmósfera podría ser un factor limitante para los helechos arborescentes del bosque nublado, como se ha documentado para los árboles juveniles de los bosques tropicales (Engelbrecht *et al.* 2005) y para los helechos película que crecen sobre la corteza de los árboles. Los helechos epifitos que crecen en el interior y sobre todo en las ramas altas y delgadas del dosel del bosque nublado experimentan una combinación de sequía y alta irradiancia sobretodo durante una parte del día o por varios días consecutivos durante la estación seca y por ello la disponibilidad de agua es un fuerte limitante de su crecimiento, como en la mayoría de las especies epifitas (Zotz & Hietz 2001).

Como en otras especies de plantas, los helechos arborescentes del bosque nublado responden al decremento de la disponibilidad hídrica disminuyendo su potencial hídrico, posiblemente por el incremento de la transpiración y/o disminución de la conducción del agua por los tallos, y engrosan sus hojas en la época seca (Riaño & Briones 2013). La disminución del estado hídrico de los helechos arborescentes del bosque nublado puede ser ocasionado por la relativamente alta temperatura y demanda evaporativa del aire durante la época seca, además de la disminución del potencial hídrico del suelo. Sin embargo, aún en la época seca el potencial hídrico superficial (0-10 cm de profundidad) del suelo del bosque nublado puede permanecer con valores altos, entre -0.01 y -0.26 MPa. La disminución en el potencial hídrico de los helechos arborescentes *Dicksonia antarica* y *Cyathea australis* de un bosque húmedo esclerófilo en respuesta a la exposición repentina de altos niveles de luz no estuvo asociada con cambios en la disponibilidad hídrica pues las plantas estuvieron regadas a capacidad de campo, sino probablemente se debió al incremento en la transpiración debido al incremento en la temperatura foliar y posibles fallas en la conducción del agua (Volkova *et al.* 2009).

Los helechos epifitos del bosque nublado que toleran la sombra profunda y crecen en la base de los troncos no poseen evidentes adaptaciones para enfrentar la sequía. Las hojas de *T. buccinatum* se desecan completamente después de algunas horas en aire moderadamente seco y la baja habilidad para contener agua ocasiona que la cosecha cuántica decrezca más rápido en comparación con las epifitas que crecen en sitios más expuestos (Hietz & Briones 2001). Sin embargo, a pesar de perder más de 90% del contenido relativo de agua la capacidad fotosintética de *T. buccinatum* puede regresar a la mitad en menos de 5 minutos y hasta 90% después de 1 hora. Este comportamiento semipoiquilohídrico ha sido demostrado para otras especies de *Hymenophyllaceae* (Proctor 2003).

La mayoría de las plantas que habitan el dosel muestran adaptaciones al ambiente xérico (Benzig 1990) y los helechos epifitos tolerantes a la sombra y de exposición del bosque nublado poseen hojas coriáceas, rizomas suculentos, bajas tasas de pérdida de agua no controlada, escamas foliares y alta elasticidad celular (Hietz & Briones 1998). El flujo de agua de la atmósfera a las hojas podría ser una fuente importante de agua para los helechos del bosque nublado, pero la cutícula de las hojas siendo muy eficiente para el control de la pérdida de agua podría ser limitante para la absorción

del agua líquida o gaseosa. Tanto los helechos epífitos de tipo tolerante como los de tipo exposición del bosque nublado muestran valores de potencial hídrico total similares a los de las bromelias epífitas (Tab. 3). Los helechos del tipo exposición del bosque nublado disminuyen más sus valores de potencial hídrico total en respuesta a la sequía, en comparación con los helechos del tipo tolerantes a la sombra. La mayoría de las plantas cierran sus estomas antes de la pérdida de turgor de la célula con el incremento en la sequía; sin embargo, los helechos epífitos del grupo exposición del bosque nublado tienen la capacidad de tolerar la pérdida de agua más allá del punto de pérdida del turgor antes del cierre estomático (Hietz & Briones 1998).

## Consideraciones finales

La ecofisiología de los helechos arborescentes y epífitos del bosque nublado es similar a la de otras plantas vasculares, con excepción de los helechos película carentes de estomas. Estudios ecofisiológicos sobre los requerimientos ambientales y recursos durante los estados del ciclo de vida de

**Tabla 3.** Potencial hídrico de helechos arborescentes y epífitos del bosque nublado del centro de México y epífitas en general. a) Potencial hídrico total al mediodía de tres especies de helechos arborescentes al inicio de la época húmeda (junio) y fin de la época seca (mayo) y potencial hídrico y osmótico de helechos epífitos (exposición, 2 especies; tolerantes, 3 especies; sombra profunda, 1 especie) en estado hidratado y 6 días después de sequía (Hietz & Briones 1998; Riaño & Briones 2012). b) Potencial hídrico total al mediodía de dos especies de helechos arborescentes en la época húmeda (invierno) y seca (verano) de un bosque húmedo esclerófilo (Volkova *et al.* 2010). c) Potencial hídrico y osmótico de varias especies de epífitas (Luttge 2008). Unidades en MegaPascal.

Grupo	Potencial hídrico total	Potencial hídrico total, sequía	Potencial osmótico	Potencial osmótico, sequía
a) Helechos del bosque nublado (México).				
Arborescentes				
Sitio cerrado	-0.79	-1.2		
Sitio abierto	-1.18	-0.97		
Epífitos				
Exposición	-0.21 a -0.3	-1.92 a -2.41	-0.93 a -1.13	-1.39 a -1.84
Tolerantes	-0.18 a -0.52	-0.97 a -1.25	-1.06 a -1.3	-1.04 a -1.25
Sombra profunda	-0.16	-1.93	-1.09	-1.56
b) Helechos del bosque húmedo esclerófilo (Australia)				
Arborescentes	-0.3 a -0.5	-1.1 a -1.2		
c) Plantas epífitas				
CAM				
Helechos, orquídeas, bromelias	-0.08 a -0.99		-0.17 a -2.34	
C <sub>3</sub>				
Bromelias	-0.2 a -0.38		-0.52 a -0.61	

dos generaciones característico de los helechos son de primordial importancia para entender su abundancia y distribución en el bosque nublado. Los estudios sobre los requerimientos germinativos de luz y temperatura de los helechos terrestres, incluyendo especies del bosque nublado, han sido realizados desde hace tiempo (Pérez-García *et al.* 2007), pero son escasos los trabajos que han tratado el efecto de la disponibilidad hídrica en la germinación de los helechos terrestres y los estudios sobre los efectos del medio físico sobre la germinación de los helechos epifitos son notablemente escasos. Solo recientemente se han realizado estudios sobre la ecología y ecofisiología del gametofito (Farrar *et al.* 2008).

Los helechos arborescentes y epifitos del bosque nublado tienen cierto grado de plasticidad fisiológica para responder a los cambios del clima, pero su comportamiento fisiológico como plantas de sombra los hace vulnerables a la fragmentación y aclaramiento del bosque. Las especies de helechos epifitos higrófilos y tolerantes a la sombra profunda serán las más afectadas por la disminución de la interceptación de la lluvia y neblina por el dosel del bosque nublado como consecuencia del cambio global, mientras que las especies de helechos epifitos con adaptaciones a la sequía podrían ser beneficiadas por un clima más seco y caliente.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la beca y recursos financieros otorgados por Conacyt (276041, CB-2011-168682).

## Referencias

- Benzing, D.H. 1990. **Vascular Epiphytes**. General Biology and Related Biota. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bystriakova, N.; Bader, A. & Coomes, D. 2011. Long-term fern dynamics linked to disturbance and shade tolerance. **Journal of Vegetation Science** **22**: 72-44.
- Chazdon, R.L.; Pearcy, R.W., Lee, D.W. & Fetcher, N. 1993. Photosynthetic response of tropical forests plants to contrasting light environments. Pp. 5-55. In: Mulkey, S. S.; Chazdon, R. L. & Smith, A. P. (Eds.). **Tropical Forest Plant Ecophysiology**. Chapman & Hall. New York.
- Durand, L.G. & Goldstein, G. 2001. Photosynthesis, photoinhibition, and nitrogen use efficiency in native and invasive tree ferns in Hawaii. **Oecologia** **126**: 345-354.
- Engelbrecht, B.M.J.; Kurssar, T.A. & Tyree, M.T. 2005. Drought effects on seedling survival in a tropical moist forest. **Trees** **19**: 312-321.
- Farrar, D.R.; Dassler, C.; Watkins, J.E. & Chanda, S. 2008. Gametophyte ecology. Pp. 222-256. In: Ranker, T. A. & Haufler, C. H. (Eds.). **Biology and Evolution of Ferns and Lycophytes**. Cambridge University Press. New York.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forest. **Earth -Science Reviews** **55**: 73-106.
- Geßler, A.; Duarte, H.M.; Franco, A.C.; Lüttge, U.; Demattos, E.A.; Nahm, M.; Rodrigues, P.J.F.P., Scarano, F.R. & Rennenberg, H. 2005. Ecophysiology of selected tree species in different plant communities at the periphery of the Atlantic Forest of SE-Brazil III. Three legume trees in a semi-deciduous dry forest. **Trees** **19**: 523-530.
- Geßler, A.; Nietschke, R.; Demattos, E.A.; Zaluar, H.L.T.; Scarano, F.R.; Rennenberg, H. & Lüttge, U. 2008. Comparison of the performance of three different ecophysiological life forms in a sandy coastal restinga ecosystem of SE-Brazil: a nodulated N<sub>2</sub>-fixing C<sub>3</sub>-shrub (*Andira legalis* (Vell.) Toledo), a CAM-shrub (*Clusia hilariana* Schlttdl.) and a tap root C<sub>3</sub>-hemiacryptophyte (*Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Ktze.). **Trees** **22**: 105-119.

- Hietz, P. & Hietz-Seifer, U. 1995. Composition and ecology of vascular epiphyte communities along an altitudinal gradient in central Veracruz, Mexico. **Journal of Vegetation Science** **6**: 487-498.
- Hietz, P. & Briones, O. 1998. Correlation between water relations and within-canopy distribution of epiphytic ferns in a Mexican cloud forest. **Oecologia** **114**: 305-316.
- Hietz, P. & Briones, O. 2001. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and within-canopy distribution of epiphytic ferns in a Mexican cloud forest. **Plant Biology** **3**: 279-287.
- Hietz, P. & Briones, O. 2004. Adaptaciones y bases fisiológicas de la distribución de los helechos epífitos en un bosque de niebla. In: Cabrera, H.M. (Ed.). **Fisiología Ecológica de Plantas**. Mecanismos y Respuestas al Estrés en Ecosistemas. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Valparaíso.
- Holttum, R.E. 1954. **A Revised Flora of Malaya**: An Illustrated Systematic Account of the Malayan Flora, Including Commonly Cultivated Plants. Vol. II. Singapore: Government Printing Office.
- Holwerda, F.; Bruijnzeel, L.A.; Muñoz-Villers, L.E.; Equihua, M.; Asbjornsen, H. 2010. Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forest of central Veracruz, Mexico. **Journal of Hydrology** **384**: 84-96.
- Huang, D.; Wu, L.; Chen, J.R. & Dong, L. 2011. Morphological plasticity, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Athyrium pachyphlebium* at different shade levels. **Photosynthetica** **49**: 611-618.
- Hubbell, S.P. 1999. Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. **Science** **283**: 554-557.
- Ingram, S.W. & Nadkarni, N.M. 1993. Composition and distribution of epiphytic organic matter in a neotropical cloud forest, Costa Rica. **Biotropica** **25**: 370-383.
- Jones, M.M.; Olivas Rojas, P.; Tuomisto, H. & Clark, D.B. 2007. Environmental and neighborhood effects on tree fern distributions in a neotropical lowland rain forest. **Journal of Vegetation Science** **18**: 13-24.
- Johansson, D. 1974. Ecology of vascular epiphytes in West African rain forest. **Acta Phytogeographica Suecica** **59**: 1-129.
- Kelly, D.L. 1985. Epiphytes and climbers of a Jamaican rain forest: Vertical distribution, life forms and life history. **Journal of Biogeography** **12**: 223-241.
- Korall, P.; Conant, D.S.; Metzgar, J.S.; Schneider, H.; Pryer, K.M. 2007. A molecular phylogeny of scaly tree ferns (*Cyatheaceae*). **American Journal of Botany** **94**: 873-886.
- Larcher, W. 2003. **Physiological Plant Ecology**: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Springer Verlag.
- Laurans, M.; Martin, O.; Nicolini, E. & Vincent, G. 2012. Functional traits and their plasticity predict tropical trees regeneration niche even among species with intermediate light requirements. **Journal of Ecology** **100**: 1440-1452.
- Lüttge, U. 2008. **Physiological Ecology of Tropical Plants**. Springer.
- Mehltreter, K.; Walker, L.R. & Sharpe, J.M. (Eds.). 2010. **Fern Ecology**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Parker, G. 1995. Structure and microclimate of forest canopies. Pp. 73-106. In: Lowmann, M. & Nadakarni, N. M. (Eds.). **Forest Canopies**. Academic Press, San Diego.
- Pérez-García, B.; Mendoza-Ruiz, A., Sánchez-Coronado, M.E. & Orozco-Segovia, A. 2007. Effect of light and temperature on germination of spores of four tropical fern species. **Acta Oecologica** **32**: 172-179.
- Pittendrigh, C.S. 1948. The bromeliad-anopheles-malaria complex in Trinidad. I-The bromeliad flora. **Evolution** **2**: 58-89.
- Poorter, L. & Arets, E.J.M.M. 2003. Light environment and tree strategies in a Bolivian tropical moist forest: an evaluation of the light partitioning hypothesis. **Plant Ecology** **166**: 295-306.
- Proctor, M.C.F. 2003. Comparative ecophysiological measurements on the light responses, water relations and desiccation tolerance of the filmy ferns *Hymenophyllum wilsonii* Hook. and *H. tunbrigense* (L.) Smith. **Annals of Botany** **91**: 717-727.
- Riaño, K & Briones, O. 2013. Leaf physiological response to light environment of three tree fern species in a Mexican cloud forest. **Journal of Tropical Ecology** **29**: 217-228.

- Rudolph, D.; Rauer, G.; Nieder, J. & Barthlott, W. 1998 Distributional patterns of epiphytes in the canopy and porophyte characteristics in a western Andean rain forest in Ecuador. **Selbyana** **19**: 27-33.
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. **Acta Botánica Mexicana** **35**: 25-44.
- Saldaña, A.O.; Hernandez, C.; Coopman, R.E.; Bravo, L.A. & Corcuera, L.J. 2010. Differences in light usage among three fern species of genus *Blechnum* of contrasting ecological breadth in forest light gradient. **Ecological Research** **25**: 273-281.
- ter Steege, H. & Cornelissen, J.H.C. 1989. Distribution and ecology of vascular epiphytes in lowland rain forest of Guayana. **Biotropica** **21**: 331-339.
- Volkova, L.; Bennett, L. & Tausz, M. 2009. Effects of sudden exposure to high light levels on two tree fern species *Dicksonia antarctica* (*Dicksoniaceae*) and *Cyathea australis* (*Cyatheaceae*) acclimated to different light intensities. **Australian Journal of Botany** **57**: 562-571.
- Volkova, L.; Bennett, L.T. & Tausz, M. 2010. Diurnal and seasonal variations in photosynthetic and morphological traits of the tree ferns *Dicksonia antarctica* (*Dicksoniaceae*) and *Cyathea australis* (*Cyatheaceae*) in wet sclerophyll forests of Australia. **Environmental and Experimental Botany** **70**: 11-19.
- Zhang, Q.; Chen, J.-W.; Li, B.-G. & Cao, K.-F. 2009. The effect of drought on photosynthesis in two epiphytic and two terrestrial tropical fern species. **Photosynthetica** **47**: 128-132.
- Zotz, G. & Hietz, P. 2001. The ecophysiology of vascular epiphytes: Current knowledge, open questions. **Journal of Experimental Botany** **52**: 2067-2078.
- Zotz, G. & Bader, M.Y. 2009. Epiphytic plants in a changing world-global: Change effects on vascular and non-vascular epiphytes. Pp. 147-170. In: Lüttge, U.; Beyschlag, W.; Büdel, B. & Francis, D. **Progress in Botany** **70**. Springer-Verlag, Berlin.

# A FOTOSSÍNTESE DE PLANTAS DE CERRADO E DE FLORESTA AMAZÔNICA MODULADA POR NITROGÊNIO E FÓSFORO FOLIAR

**Tomas Ferreira Domingues, Jon Lloyd, Patrick Meir,  
Guatavo Saiz & Ted Feldpaush**

[tdomingu@gmail.com](mailto:tdomingu@gmail.com)

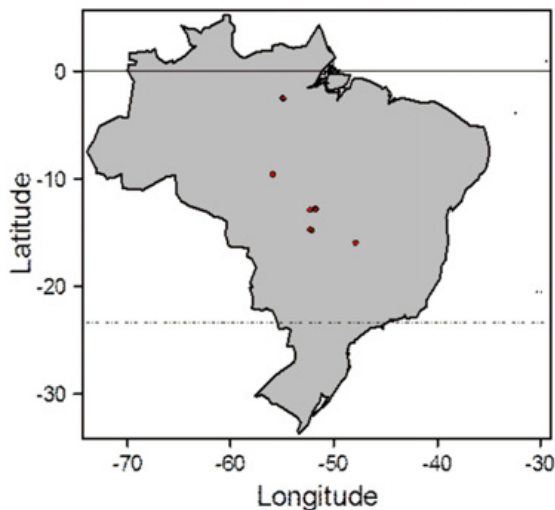
## Introdução

A produtividade primária, decorrente do processo fotossintético, representa o aporte principal de energia aos ecossistemas. A quantidade e qualidade desta energia são fundamentais para o funcionamento de ecossistemas e determina os serviços por estes prestados. Assim, comunidades vegetais atuam como componentes chave da paisagem, efetivamente determinando a complexidade de redes tróficas e taxas de ciclos biogeoquímicos. Nossa realidade atual indica que formações vegetais não são características estáticas da paisagem. Mudanças globais em andamento influenciam profundamente o funcionamento e a estabilidade dos ecossistemas, o que pode acarretar consequências negativas ao bem estar humano. Dessa forma, é imperativo que tenhamos uma compreensão profunda sobre os fatores que influenciam a produtividade primária de ecossistemas, em especial, dos Biomas brasileiros, de modo a possibilitar a elaboração de cenários futuros de sua distribuição e abrangência.

Um importante aspecto da produtividade primária é a relação entre nutrientes e fotossíntese. A capacidade de fixação do carbono das folhas durante o processo fotossintético depende do investimento feito por elas em seu aparato enzimático. Como o Nitrogênio (N) é um componente fundamental de proteínas, espera-se que exista uma relação direta entre conteúdo foliar de N e a capacidade fotossintética (e.g. Field & Mooney 1986; Evans 1989; Domingues *et al.* 2005). Tal relação foi frequentemente observada em sistemas temperados e foi incorporada em vários modelos matemáticos desenvolvidos para estimativas de produtividade primária (Ollinger S. & Smith M.-L. 2005). Entretanto, uma diferença fundamental distingue sistemas temperados dos tropicais. Em primeiro lugar, solos de regiões tropicais são predominantemente pobres em Fósforo (P) (Vitousek & Sanford 1986; Hedin 2004; Quesada *et al.* 2012), sendo o N em contrapartida, o fator mais limitante para a produtividade em sistemas temperados (Schulze *et al.* 1994). Dessa forma, pode-se esperar que o N foliar seja o fator de maior influência sobre a capacidade fotossintética em ambientes temperados, e que o papel do P cresça em relevância em sistemas tropicais (Domingues *et al.* 2010). O objetivo deste trabalho foi de determinar a capacidade fotossintética de espécies vegetais dominantes em formações savânicas e florestais nos Biomas Cerrado, Amazônico e áreas de transição e estabelecer relações entre fotossíntese e o conteúdo foliar de N e P.

## Métodos

Entre março e junho de 2008, 17 parcelas permanentes de 1 ha foram estabelecidas ao longo de um transecto de precipitação, incluindo localidades nos estados do Pará e Mato Grosso, além do Dis-



**Figura 1.** Localização das parcelas estabelecidas para a avaliação florística, de estoque de carbono e características fotossintéticas e nutricionais.

trito Federal (Figura 1). Também foram incluídos neste estudo dados anteriormente obtidos na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA-Tapajós), cerca de 70 km da cidade de Santarém, PA. As vegetações estudadas foram divididas em três categorias: Savanas (Sv), Floresta Estacional Semi-Decidual (FESD), e Floresta Ombrófila Densa (FOD).

Dentro de cada parcela, todas as árvores e lianas com diâmetro à altura do peito igual ou superior a 10 cm foram identificadas e receberam uma placa de metal numerada. O ponto exato utilizado para a determinação do diâmetro foi pintado com tinta vermelha possibilitando remeidições posteriores e assim monitorar o crescimento. A altura de uma sub-amostra de árvores foi medida para gerar equações alométricas para se estoques de biomassa.

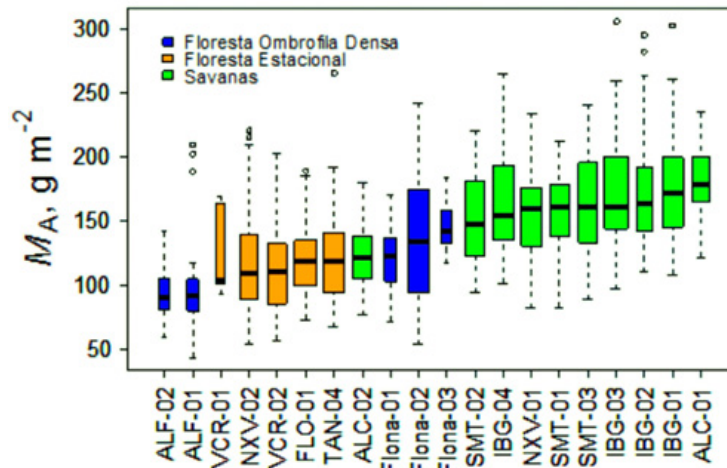
Um total de 231 espécies de árvores, lianas ou arbustos (480 indivíduos), pertencentes a 63 famílias, foram amostradas para parâmetros relacionados à fotossíntese durante toda a campanha de campo. Tais espécies foram escolhidas levando-se em consideração sua contribuição ecológica dentro de cada parcela permanente.

Para cada indivíduo estudado, determinou-se a relação entre concentrações atmosféricas de  $\text{CO}_2$  e taxas fotossintéticas correspondentes, produzindo-se então, curvas de resposta, normalmente denominadas curvas de  $A-C_i$ , onde  $A$  corresponde à taxa fotossintética líquida e  $C_i$  correspondem à concentração de  $\text{CO}_2$  nos espaços intercelulares do mesófilo foliar. Tais curvas de resposta foram determinadas sob condições de luz saturante ( $2.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e observando as recomendações em Long e Bernacchi (2003). Curvas de resposta foram descartadas desta análise quando a condutância estomática ( $g_s$ ), associada a determinações de  $A$  sob luz saturante e  $\text{CO}_2$  ambiente (400 ppm) ( $A_{\text{sat}}$ ), se encontrava abaixo do valor limite de  $0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Para a determinação das curvas de  $A-C_i$ , utilizou-se dois sistemas portáteis de fotossíntese, baseados em analisadores de gás por radiação infravermelha (Li-Cor 6400, Inc., Lincoln, USA) associados às fontes de luz vermelha-azul e dispositivos injetores de  $\text{CO}_2$ . Apenas folhas naturalmente exposta a luz solar direta foram utilizadas neste estudo. Nos casos em que a folhagem a ser amostrada se encontrava fora do alcance dos sistemas de fotossíntese, galhos expostos ao sol foram removidos de árvores e cortados novamente enquanto imersos em um recipiente com água, de modo a manter intacta a coluna d'água do xilema. Nestas circunstâncias, curvas de resposta foram tomadas dentro de uma hora após a obtenção do galho.

O modelo bioquímico de Farquhar e colaboradores (Farquhar *et al.* 1980, von Caemmerer 2000) foi ajustado às curvas de resposta por interação utilizando-se o método de mínimos quadrados, em uma rotina desenvolvida em ambiente "R" (Domingues *et al.* 2010), tornando possível a estimativa da parâmetros de capacidade fotossintética como a eficiência máxima de carboxilação da enzima Rubisco ( $V_{\text{cmax}}$ ) e da capacidade máxima de fluxo de elétrons empregada na regeneração do substrato RuBP ( $J_{\text{max}}$ ). Estes parâmetros foram então recalculados para uma temperatura de referência ( $25^\circ\text{C}$ ) de acordo com Bernacchi *et al.* (2003).

As folhas utilizadas para a determinações de capacidade fotossintética foram coletadas para determinações posteriores de concentrações de macro-nutrientes foliares. Além disso, o peso seco e área foliar foram também determinados para cada folha coletada. Da relação entre peso seco e área foliar, determinou-se a razão entre a massa e respectiva área foliar ( $M_A$ ,  $\text{g cm}^{-2}$ ).





**Figura 2.** Variação observada para a razão massa-área foliar ( $M_A$ ) entre as parcelas estudadas durante a estação chuvosa de 2008.

Análises de co-limitação da fotossíntese por N e P foram efetuadas pelo modelo descrito pela equação abaixo (Eq.1),

$$V_{\text{cmax-Modelado}} = \min\{a + bN; c + dP\} \quad \text{Eq.1}$$

onde  $V_{\text{cmax-Modelado}}$  representa a capacidade fotossintética modelada, N e P são os valores observados de concentração foliar de nitrogênio e fósforo, respectivamente e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são coeficientes de regressão linear, derivados da minimização pelo método dos mínimos quadrados do modelo em relação aos valores observados de  $V_{\text{cmax}}$  para cada folha (Domingues *et al.* 2010).

Para testes estatísticos, o nível de significância adotado foi  $P \leftarrow 0,05$ .

## Resultados

Aspectos da estrutura, tipo de vegetação e localização das parcelas estudadas podem ser observados na Tabela 1. Formações de FOD apresentaram área basal cerca de três ordens de magnitude maiores que áreas compostas de vegetação savânica mais aberta, demonstrando a extensão da variabilidade de formações vegetais amostradas neste estudo.

As formações savânicas tenderam a apresentar valores mais elevados para a relação área:massa foliar, enquanto que o oposto foi observado para folhas oriundas de matas semi-decíduais (Fig.2; Tabela 2). Para este parâmetro, savanas foram significativamente diferentes dos dois tipos de floresta, entretanto FOD e FESD não apresentaram diferenças significantes.

Com relação ao conteúdo foliar de P, novamente as formações savânicas tenderam a apresentar valores mais elevados, significativamente distinguindo-as de FOD e FESD (Fig. 3a; Tabela 2). Já para a concentração foliar de N, nenhum padrão associado ao tipo de vegetação pôde ser observado (Fig. 3b).

A capacidade fotossintética das folhas avaliadas neste estudo, estimada como a velocidade máxima de carboxilação pela enzima RUBISCO ( $V_{\text{cmax}}$ ), apresentaram padrão semelhante aquele observado para o conteúdo foliar de P, onde SV apresentou valores mais elevados de  $V_{\text{cmax}}$ , significativamente distinto de FOD ou FESD (Fig. 4; Tabela 2).

Devido à similaridade observada entre as formações FOD e FESD (dossel fechado), estas foram agrupadas para a análise de co-limitação da fotossíntese por N e P como descrito na Eq. 1 (Fig. 5).

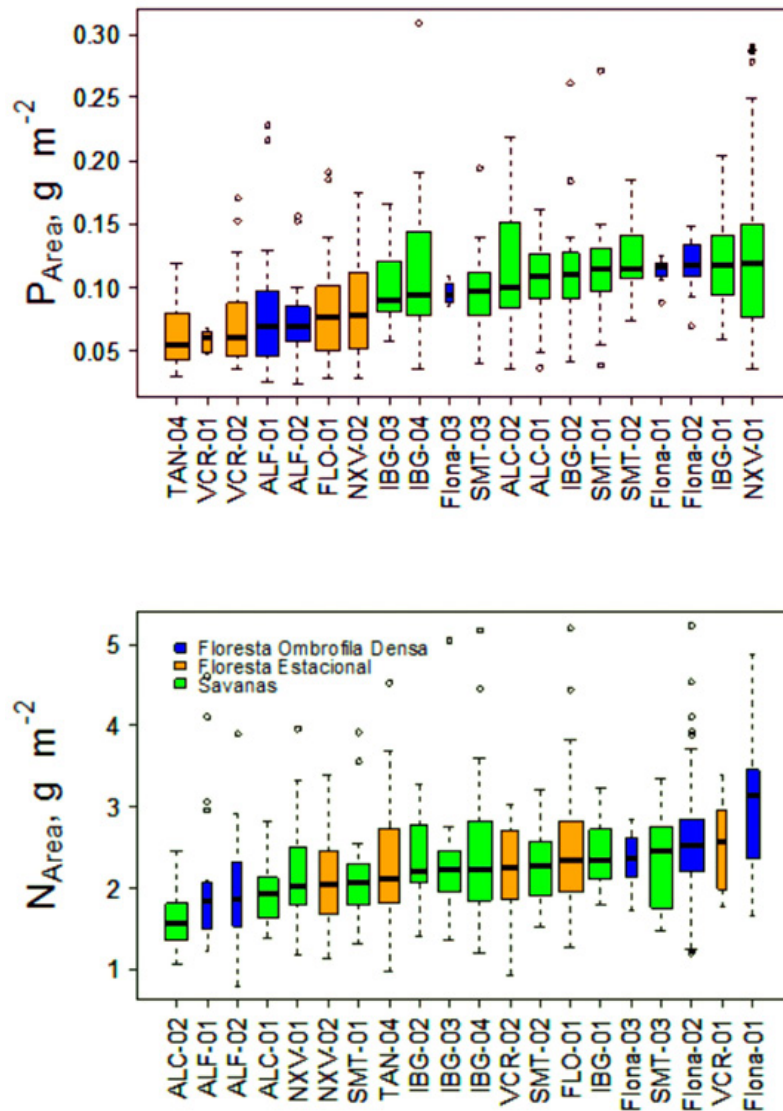
**Tabela 1.** Lista com localização geográfica das parcelas estabelecidas durante a campanha de campo do projeto “TROBIT” no Brasil, classe de vegetação encontrada na parcela, média anual de precipitação (mm ano<sup>-1</sup>) e área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

Código da parcela	Região	Lat.	Long.	Vegetação*	Precipitação anual	Área basal
ALC-01	Alter do Chão, PA	-2,529	-54,909	Sv	2020	1,99
ALC-02	Alter do Chão, PA	-2,490	-54,960	Sv	1970	5,61
Flona - 1 a 3	FLONA - Tapajós, PA	-2,844	-54,952	FOD	1970	ND
ALF-01	Alta Floresta, MT	-9,598	-55,937	FOD	2350	22,04
ALF-02	Alta Floresta, MT	-9,578	-55,918	FOD	2353	26,75
FLO-01	Fazenda Floresta, MT	-12,813	-51,854	FESD	1613	18,44
IBG-01	Brasília, reserva IBGE	-15,950	-47,871	Sv	1613	0,41
IBG-02	Brasília, reserva IBGE	-15,952	-47,872	Sv	1592	0,27
IBG-03	Brasília, reserva IBGE	-15,930	-47,873	Sv	1611	0,95
IBG-04	Brasília, reserva IBGE	-15,945	-47,861	Sv	1597	2,91
NXV-01	Nova Xavantina, MT	-14,708	-52,352	Sv	1508	5,27
NXV-02	Nova Xavantina, MT	-14,700	-52,351	FESD	1508	10,38
SMT-01	Fazenda Santa Marta, MT	-12,819	-51,770	Sv	1603	7,11
SMT-02	Fazenda Santa Marta, MT	-12,825	-51,769	Sv	1603	3,22
SMT-03	Fazenda Santa Marta, MT	-12,835	-51,766	Sv	1599	19,14
TAN-04	Fazenda Tanguru, MT	-12,921	-52,373	FESD	1662	17,02
VCR-01	Fazenda Vera Cruz, MT	-14,831	-52,160	FESD	1516	16,48
VCR-02	Fazenda Vera Cruz, MT	-14,832	-52,169	FESD	1512	6,35

\*Legenda: Savanas (Sv), Floresta Estacional Semi-Decidual (FESD), e Floresta Ombrófila Densa (FOD).

**Tabela 2.** Valores médios e respectivos desvios padrão para parâmetros relacionados à fotossíntese para savana (SV), Floresta Estacional Semi Decidual (FESD) e Floresta Ombrófila Densa (FOD). Razão massa/área foliar (Ma; g m<sup>-2</sup>), concentração de Nitrogênio e Fósforo foliar expressa em unidade de área (N<sub>area</sub> e P<sub>area</sub>, respectivamente; g m<sup>-2</sup>), concentração de Nitrogênio e Fósforo foliar expressa em unidade de massa (N<sub>massa</sub> e P<sub>massa</sub>, respectivamente; mg g<sup>-1</sup>), velocidade máxima de carboxilação (V<sub>cmáx</sub>; mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e taxa fotossintética sob luz saturante (A<sub>sat</sub>; mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

Parâmetro	Sv		FESD		FOD	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Ma	161,1	41,0	119,2	34,3	123,3	38,8
N <sub>area</sub>	2,19	0,60	2,31	0,69	2,49	0,71
P <sub>area</sub>	0,115	0,046	0,074	0,035	0,087	0,038
N <sub>massa</sub>	14,1	4,3	20,2	5,9	20,6	5,7
P <sub>massa</sub>	0,73	0,34	0,61	0,26	0,81	0,27
V <sub>cmáx</sub>	41,8	15,2	32,6	12,8	33,9	17,7
A <sub>sat</sub>	12,77	4,27	9,06	4,28	8,06	4,32

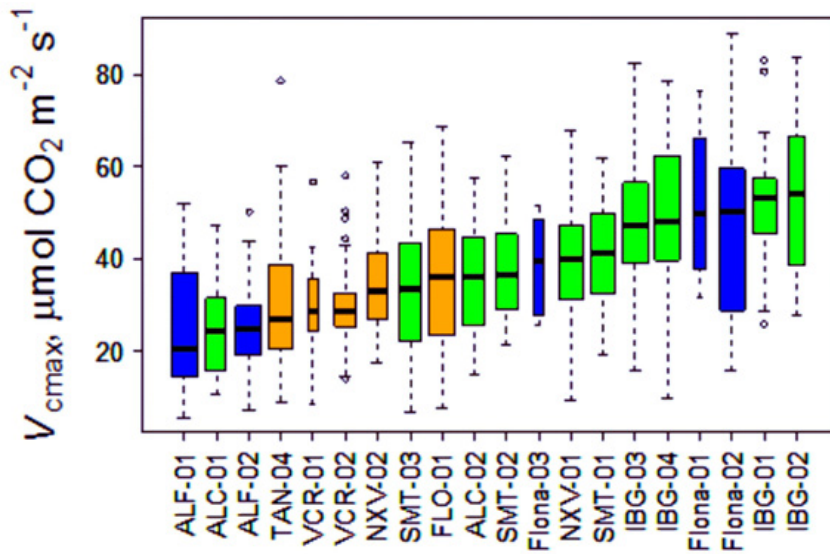


**Figura 3.** Variações observadas para a concentração foliar de Nitrogênio e Fósforo entre as parcelas estudadas durante a estação chuvosa de 2008.

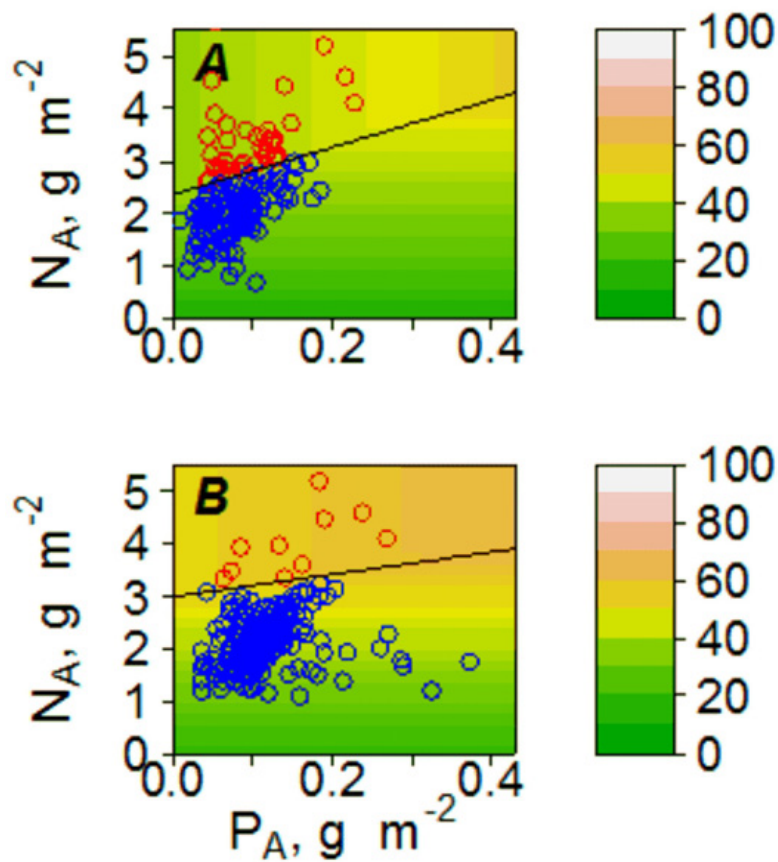
Pode-se observar que formações florestais (Fig. 5 **A**) apresentam uma maior influência do P sobre a capacidade fotossintética, quando comparados às formações savânicas (Fig. 5 **B**). Nota-se para amostras oriundas das savanas, uma limitada variação de cores ao longo do gradiente de P (eixo X), embora valores modelados de  $V_{cmax}$  sejam predominantemente mais elevados (cores mais “quentes”) quando comparados á amostras de floresta. Isso evidencia que, para uma dada concentração de N as folhas de savana podem atingir uma maior taxa fotossintética. Já para florestas, o efeito do se dá de forma mais pronunciada, representado na figura por um maior gradiente de cores ao longo dos dois eixos.

## Discussão e Conclusões

É possível que mudanças globais alterem significativamente o padrão de distribuição de chuvas hoje observado para os biomas brasileiros. Eventos severos de seca foram observados na Amazônia nos anos de 2005 e 2010, influenciando negativamente a produtividade primária e aumentando a



**Figura 4.** Variações observadas para a concentração de Nitrogênio e Fósforo foliar entre as parcelas estudadas durante a estação chuvosa de 2008.



**Figura 5.** Co-limitação da fotossíntese por Nitrogênio e Fósforo para formações que apresentam o dossel fechado (Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semi Decídua) (A) e para formações savânicas (B). Cada ponto nos gráficos representam as concentrações de N e P observadas um folha individual e a escala de cores representa a capacidade fotossintética ( $V_{cmax}$ ), modelada pela Eq. 1. Símbolos vermelhos demonstram folhas limitadas por P e símbolos azuis, limitação por N. A linha negra indica a região de co-limitação entre N e P.

mortalidade de plantas (Zeri *et al.* 2014; Lewis *et al.* 2014; Gatti *et al.* 2014). A disponibilidade de nutrientes e sua utilização em processos relacionados à produtividade primária são fatores que modulam a resposta das vegetações em relação a fatores ambientais, como a precipitação, temperatura e a elevação da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (Lloyd & Farquhar, 2008). Os resultados obtidos neste estudo indicaram que o funcionamento de savanas difere daquele de florestas quando características relacionadas à fotossíntese são comparadas. Por exemplo, a Fig. 5 indica que a eficiência no uso do Nitrogênio em relação a atividade fotossintética é maior para savana em comparação com florestas. Talvez esta seja uma adaptação a uma menor disponibilidade hídrica em savanas, provavelmente impondo limites à difusão do CO<sub>2</sub> para dentro das folhas em consequência a menores condutâncias estomáticas necessárias para impedir perda excessiva de água pelas folhas.

O fato de que os teores de P foliar terem sido distintos entre savanas e florestas (Fig. 3), padrão não observado para o N, indica que o P exerce maior controle sobre a produtividade primária em ecossistemas de floresta abordados neste estudo e, portanto, a relação fotossíntese-P deve ser incluída em modelos numéricos que simulam produtividade primária. O fato de que ecossistemas mais produtivos sejam limitados por P e apresentarem uma menor capacidade fotossintética é aparentemente contraditório, entretanto esta análise é comparativa e deve-se considerar as diferenças em biomassa encontradas entre estes ecossistemas e aqueles de savana. Ao contrário das florestas avaliadas neste estudo, não foi observado efeito significativo do P sobre a fotossíntese de savanas, embora uma relação positiva tenha sido encontrada para o N. É provável que ecossistemas de savana apresentem maior deficiência em N devido a perdas deste elemento devido a queimadas (Wienhold & Klemmedson 1992).

De maneira geral, pode-se concluir que os ambos os nutrientes avaliados são determinantes da produtividade de florestas, enquanto que o N é o fator principal no caso de savanas.

## Referências

- Bernacchi C.J., Pimentel C. & Long S.P. 2003. In vivo temperature response functions of parameters required to model RuBP-limited photosynthesis. **Plant Cell & Environment** 26, 1419-1430.
- Domingues T.F., Berry J.A., Martinelli L.A., Ometto J.P.H.B. & Ehleringer J.R. 2005. Parameterization of canopy structure and leaf-level gas exchange for an eastern Amazonian tropical rain forest (Tapajós National Forest, Pará, Brazil). **Earth Interactions** 9, 1-23.
- Domingues, T.F.; Meir, P.; Feldpausch, T.R.; Saiz, G.; Veenendaal, E.M.; Schrod, F.; Bird, M.; Djagbletey, G.; Hien, F.; Compaore, H.; Diallo, A.; Grace J. & Lloyd, J.2010. Co-limitation of photosynthetic capacity by nitrogen and phosphorus in West Africa woodlands. **Plant, Cell & Environment** 33:959-980.
- Evans J.R. (1989) Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78, 9-19.
- Farquhar G.D., von Caemmerer S. & Berry J.A. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C3 species. **Planta** 149, 78-90.
- Field C.B. & Mooney H.A. 1986. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In: Givnish T.J.(Ed.) **On the Economy of Plant Form and Function**. pp. 25-55. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gatti L. V., Gloor M., Miller J. B., Doughty C. E., Malhi Y., Domingues L. G., Basso L. S., Martinewski A., Correia C. S. C., Borges V. F., Freitas S., Braz R., Anderson L. O., Rocha H., Grace J., Phillips O. L. & Lloyd J. 2014. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. **Nature** 506:76-80.
- Hedin L.O. (2004) Global organization of terrestrial plant-nutrient interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 101, 10849-10850.
- Lewis S.L., Brando P. M., Phillips O. L., van der Heijden G. M. F., Nepstad D. 2014. The 2010 Amazon Drought. **Science** 331(6017) p. 554.



- Lloyd, J. and G. D. Farquhar. 2008. Effects of rising temperatures and [CO<sub>2</sub>] on the physiology of tropical forest trees. *Transactions of the Royal Society of London Series B*. 363: 1811-1817.
- Ollinger S. & Smith M.-L. 2005. Net primary production and canopy nitrogen in a temperate forest landscape: An analysis using imaging spectroscopy, modeling and field data. **Ecosystems** 8: 760-778.
- Quesada, C.A.; Phillips, O.L.; Schwarz, M.; Czimczik, C.I.; Baker, T.R.; Patiño, S.; Fyllas, N.M.; Hodnett, M.G.; Herrera, R.; Almeida, S.; Alvarez Dávila, E.; Arneeth, A.; Arroyo, L.; Chao, K.J.; Dezeo, N.; Erwin, T.; di Fiore, A.; Higuchi, N.; Honorio Coronado, E.; Jimenez, E.M.; Killeen, T.; Lezama, A.T.; Lloyd, G.; López-González, G.; Luizão, F.J.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Núñez Vargas, P.; Paiva, R.; Peacock, J.; Peñuela, M.C.; Peña Cruz, A.; Pitman, N.; Priante Filho, N.; Prieto, A.; Ramírez, H.; Rudas, A.; Salomão, R.; Santos, A.J.B.; Schmerler, J.; Silva, N.; Silveira, M.; Vásquez, R.; Vieira, I.; Terborgh, J. & Lloyd, J..2012. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. **Biogeosciences** 9: 2203-2246.
- Schulze E.-D., Kelliher F.M., Korner C., Lloyd J. & Leuning R. 1994. Relationships among maximum stomatal conductance, ecosystem surface conductance, carbon assimilation rate, and plant nitrogen nutrition: A global ecology scaling exercise. **Annual Review of Ecology and Systematics** 25, 629-660.
- Vitousek P.M. & Sanford Jr R.L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics** 17, 137-167.
- von Caemmerer S. (2000) **Biochemical model of leaf photosynthesis**. Victoria: SCIRO Publishing, Collingwood,.
- Wienhold B. J. & Klemmedson, J. O. 1992. Effect of prescribed fire on nitrogen and phosphorus in Arizona chaparral soil-plant systems. **Arid Soil Research and Rehabilitation** 6(4), 285-296.
- Zeri M, Sá LDA, Manzi AO, Araújo AC, Aguiar RG, *et al.* (2014) Variability of Carbon and Water Fluxes Following Climate Extremes over a Tropical Forest in Southwestern Amazonia. **PLoS ONE** 9(2): e88130. doi:10.1371/journal.pone.0088130

# FORMAR PROFESSORES E O ENSINO DE BOTÂNICA

**João Rodrigo Santos da Silva & Paulo Takeo Sano**

Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil.

[joaorodrigoss@gmail.com](mailto:joaorodrigoss@gmail.com)

Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

[ptsano@usp.br](mailto:ptsano@usp.br)

A formação de professores é um momento estratégico para viabilizar mudanças expressivas na educação escolar. Sendo assim, é importante reconhecer os saberes e fazeres (prática) pertinentes ao ato de ensinar como possibilidade e necessidade de aprendizagem dos docentes (Monteiro, 2005). Além disso, a formação de professores é um processo que tem que manter alguns princípios éticos, didáticos e pedagógicos comuns, independente do nível de formação que esse docente irá atuar. Isto significa que o modelo de ensino e de professor assumido pelo sistema educativo e pela sociedade tem que estar presente em todos os níveis, devendo estar contido dentro da formação de professores (Garcia, 1992). Nóvoa (1999) ainda destaca que a formação de professores não se forma apenas profissionais e sim existe a construção de uma profissão, sendo uma das áreas mais sensíveis e suscetíveis à mudança. Deste modo, a formação do professor pode ser entendida como o processo pelo qual se aprende a ensinar e, mais importante que isso, compreender o seu fazer (Almeida, 2012).

Segundo Schwartzman (1994) o principal problema com a formação de professores, no entanto, é que ela é vista como uma habitação profissional de pouco prestígio e interesse, tanto por parte de professores e departamento universitários quanto por estudantes. Os departamentos acadêmicos, principalmente nas Universidades públicas, se consideram, sobretudo centros de formação científica e técnica, e só secundariamente como centros de formação de professores de nível médio. A consequência deste quadro é que o ensino superior brasileiro não está formando professores na quantidade e na qualidade necessárias para o sistema de educação básico em expansão.

Segundo Aquino e Puentes (2011) o perfil do professor deve ser modelado em uma dupla formação principal: a primeira relacionada a formação especializada na ciência em que se inscreve a disciplina que ministra, relacionando aqui também com a formação como produtor, pesquisador e divulgador de conhecimento. A segunda formação está relacionada com a formação pedagógica, formação didática e um conhecimento do contexto universitário, políticas educativas, modelos pedagógicos e uma postura autocrítica e reflexiva sobre a prática pedagógica.

Uma das possibilidades é formar o professor para a reflexão de sua prática. Segundo Nóvoa (1992) a formação deve estimular uma perspectiva crítica-reflexiva, que forneça aos professores os meios de um pensamento, que facilite as dinâmicas de autoformação participada e desenvolva uma autonomia contextualizada da profissão docente. Deste modo, a formação não se constrói por acumulação (de conhecimentos, de cursos ou de técnicas), mas sim através de um trabalho de flexibilidade crítica sobre as práticas e de (re)construção permanente da identidade profissional. Segundo Pérez Gómez (1992) o processo de reflexão não pode se limitar a aplicar técnicas de aprendidas ou métodos de investigação consagrados, deve também aprender a construir e a comparar novas es-

estratégias de ação, novas fórmulas de pesquisa, novas teorias e categorias de compreensão, novos modos de enfrentar e definir os problemas.

Essa formação reflexiva permite ao docente pensar sobre sua prática e sobre suas estratégias. Considerando esses aspectos, é importante ressaltar a prática que o professor tem em sala de aula. Considerando o ensino de botânica, como deve ser o ensino de botânica? E como esse ensino pode estar relacionado com a formação dos professores? Existe essa relação?

Ao se pensar nessa formação reflexiva e no papel da Universidade na formação de professores, questiono aqui se os professores Universitários realizam uma prática de ensino que possibilite um despertar do conhecimento botânico para o contexto social e para formação do professorado.

Em relação ao conhecimento botânico e seu ensino, um dos grandes problemas é a falta de interesse demonstrada pelos estudantes por esse conhecimento. Em um estudo feito com estudantes de ensino médio na Alemanha e na Áustria, Elster (2007) aponta que os conhecimentos botânicos despertam menos interesse dentro de alguns conhecimentos relacionados com as áreas científicas (contando aqui com áreas biológicas: zoologia, biologia humana, bem como conhecimentos de outras áreas como Universo, energia, geociências, química, dentre outros). Segundo Carter (2004), o interesse por botânica caiu bastante após a década de 40 e teve seu espaço diminuído em alguns currículos nos Estados Unidos. Mesmo com o reconhecimento da importância das plantas para o homem, o interesse pela biologia vegetal é tão pequeno que as plantas raramente são percebidas como algo mais que componentes da paisagem ou objetos de decoração, Wandersee e Schussler (2001) chamam isso de 'cegueira botânica'. Utilizado também por Hershey (2002) demonstrando que o interesse dos estudantes pela botânica é ainda menor e que, segundo Carmo-Oliveira (2007) aumenta a dificuldade do processo ensino-aprendizagem.

A Botânica tradicionalmente é abordada de forma isolada dos demais temas no currículo do Ensino Básico, o que ocorre principalmente no sétimo ano do Ensino Fundamental e no segundo ano do Ensino Médio. Os PCNs (1998, 2006) de Ciências Naturais e Ensino Médio sugerem propostas alternativas, diluindo os temas botânicos ao longo do currículo, uma vez que propõem como um dos eixos temáticos do ensino fundamental: "vida e ambiente". Sugerem ainda o trabalho com temas que dão contexto aos conteúdos e permitem uma abordagem das disciplinas científicas (incluindo a Botânica) de modo inter-relacionado.

O Ensino de Botânica caracteriza-se como muito teórico, desestimulante para alunos e subvalorizado dentro do Ensino de Ciências e Biologia. Nas escolas, de modo geral, faltam condições de infraestrutura e melhor preparo dos professores para modificar essa situação, e o Ensino de Botânica, assim como o de outras disciplinas, é reprodutivo, com ênfase na repetição e não no questionamento. O professor é a principal fonte de informação, passando aos alunos os conhecimentos que acumulou de forma não-problematizada e descontextualizada do ambiente que os cercam. Há a prática de certezas e as aulas ocorrem dentro de uma estrutura de saber acabado, sem contextualização histórica (Kinoshita *et al.* 2006).

Um dos fatores que podem proporcionar a esse desinteresse do estudante é justamente a falta de contexto do ensino é a preocupação recorrente dos docentes com o conhecimento a ser transmitido em detrimento da aprendizagem significativa. As Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) (Brasil, 1996) trata a contextualização como um dos eixos organizadores do currículo, deixando que a proposta pedagógica das unidades escolares contextualize os conteúdos curriculares de acordo com as características locais, regionais e da vida dos alunos. A LDB enfatiza os contextos ligados ao trabalho e à cidadania, de maneira que os temas abordados em sala ressaltariam a contextualização sócio-cultural ambientada no cotidiano do aluno.

Nessa perspectiva, um estudo feito sobre a contextualização do conhecimento realizado com professores de botânica de nível superior de três Universidades públicas aponta que estes docentes contextualizam o conhecimento botânico de quatro formas (Silva, 2013):



A contextualização histórica, quando o professor ressalta como o conhecimento foi modificado ao longo do tempo e como o desenvolvimento social e tecnológico modificou esse conhecimento ao longo do tempo, vale ressaltar que a contextualização historiográfica foi incluída nessa categoria apresentar semelhanças quanto ao enfoque dado; a contextualização interdisciplinar, quando o professor ressalta a relação do tema com outras áreas relacionadas ao tema; o contexto cotidiano do aluno, quando o professor insere as aulas dentro de uma situação local, regional, que faz parte do contexto dos estudantes; e por fim a contextualização usada como sinônimo de exemplificação, quando o professor cita exemplos usuais do tema para que os estudantes entendam formas, estruturas e se familiarizem com o tema. Essa última categoria poderia estar relacionada com a abordagem do tema dentro do cotidiano dos estudantes; contudo, segundo o autor, isso não foi feito claramente, pois os professores apenas citavam exemplos, sem inseri-los dentro do cotidiano do estudante.

Segundo Silva (2013), a contextualização do conteúdo não implica só na compreensão do conhecimento científico pelo estudante. Contextualizar o ensino significa incorporar vivências concretas, e diferenciadas, além das inovações científicas. Esse tipo de abordagem permite um diálogo do docente com o estudante, desenvolve um conhecimento reflexivo e crítico formando um profissional com habilidades de compreender o contexto sócio-cultural que aquele conhecimento e outros temas possam estar inseridos.

Considerando a importância da contextualização do conhecimento, Pimenta & Anastasiou (2010), o chamam de mediação reflexiva, que consiste em relacionar a atividade de aprender dos estudantes aos conhecimentos que permeiam a sociedade, que foram nela produzidos e a constituem. Nesse sentido, o trabalho do docente é muito complexo, pois envolve diferentes saberes, tais como o conhecimento científico, suas experiências docentes, os saberes pedagógicos, a relação entre os conteúdos e as experiências do indivíduo, o sentido dado pela sociedade para aquele conhecimento. Pensando nesse contexto em que o docente universitário se encontra, com uma linguagem mais especializada e uma estrutura curricular estabelecida em blocos de conhecimento, entende-se a dificuldade de se contextualizar. Pimenta & Anastasiou (2010) argumentam que as transformações das práticas docentes só se efetivam na medida em que o professor amplia a consciência de sua própria prática, tanto relacionada à sala de aula como ao contexto universitário.

## Influências docentes

No estudo realizado por Silva (2013), com professores de botânica de três universidades públicas, apresenta que todos os docentes amostrados consideraram que sua prática como docente influencia, ou esperam que influencie a formação dos estudantes.

Em seus discursos os professores alegam que a botânica nem sempre é benquista pelos estudantes, mas que estes se encantam (alguns destes, como ressaltado por um dos professores entrevistados) pela biologia vegetal. Esses professores relatam que exercem alguma influência sobre o estudante, inclusive motivando-os para o estudo e a busca de conhecimentos botânicos. Outros docentes reconhecem que foram influenciados, quando graduandos, pelos seus professores e, com base nisso, acreditam que também influenciam as gerações que estão formando. Sobre este aspecto, Menezes (2005) afirma que o professor é preparado na Universidade e, ao assistir as aulas dos docentes, acaba reproduzindo aquilo que experimentou na Faculdade. O perigo disso, segundo Menezes (1986), é que esse professor se torne um “repetidor de aulas”, perdendo a dimensão do que é ser um educador e o porquê de ensinar. Em um trabalho apresentado por Cunha (2005), os professores entrevistados também apontaram para sua experiência enquanto estudantes, ressaltando que alguns desses professores conseguiram separar aspectos positivos e negativos relacionados às atividades teóricas e atividades práticas desenvolvidas. Poucos professores fizeram uma ruptura de método em relação ao ensino tradicional, essas rupturas se deram, segundo Cunha (2005), em alguns casos,

devido à insatisfação com a prática realizada. É importante destacar que os professores conseguem enxergar a influência que exercem nos seus alunos.

## Os professores de botânica desenvolvem as suas práticas em sala de aula pensando na formação dos futuros professores?

Esse questionamento feito por Silva (2013) em seu trabalho aponta um conceito importante a ser discutido: quem forma o professor? Será que as disciplinas de didática e práticas de ensino e seus professores são os únicos responsáveis na formação do professor? Os professores de botânica foram inqueridos se, durante esses planejamentos, alguma coisa era focada na formação daquele estudante que pretendia ser professor.

Alguns docentes responderam que não planejam atividades pensando que, naquela sala de aula, podem sair professores. Dentre os argumentos citados está a preocupação com a formação profissional independentemente se será licenciado ou bacharel; a preocupação com a sua atividade de transmitir o conhecimento; a preocupação com a formação do cidadão biólogo, que, independentemente de ser professor ou não, tem que conhecer um pouco de diversidade vegetal, destacando um docente que menciona um foco muito maior para a parte da pesquisa.

Segundo Nagle (1986), é importante que o professor perceba que, em sua sala de aula, há futuros bacharéis e licenciados, cabendo a esse professor, uma preocupação também com as atividades de formação do futuro docente. A formação do professor é tarefa de todos os docentes, não somente daqueles das disciplinas pedagógicas. Desse modo, é importante que todos os docentes trabalhem em conjunto. Sobre esses aspectos, Guimarães (2005, p. 171) completa que as disciplinas pedagógicas não são suficientes para formar educadores, assim como as disciplinas específicas não formam apenas bacharéis. As disciplinas específicas também atuam na formação docente, pois os modos como organizam os processos de ensino-aprendizagem constituem e produzem aquilo que pode e até *deve* ser entendido como formas de atuação docente. Portanto, todos os professores devem estar envolvidos com o processo de formação docente, mesmo que não queiram dedicar-se a isso integralmente. Contudo, é importante destacar a sinceridade dos professores em assumir que não preparam as aulas pensando naqueles que irão fazer licenciatura. É importante que os docentes universitários compreendam que o papel de formar professores não é apenas dos colegas das disciplinas pedagógicas. Essa postura dos docentes analisados é muito comum devido a diversos fatores, como a formação dos professores das disciplinas específicas que não preparam para a docência; a divisão curricular que fragmenta o currículo em disciplinas estanques; a formação inicial desses professores universitários; a concepção que tais professores têm da formação de um professor; e a concepção que eles têm sobre o seu papel na Universidade. Diante desta lista, é possível entender que o porquê dessa visão; contudo, é importante que estes docentes reflitam na influência que exercem sobre a formação dos estudantes e sobre o seu papel como docente, para que assim, possam entender a necessidade de contribuir com essa formação.

Alguns docentes argumentaram que pensam nos licenciandos, relacionando o planejamento com suas atividades: quando planejam quais conteúdos serão apresentados em sala e como pode utilizar isso, ou até usar do seu conhecimento prévio para abordar esses temas; quando acreditam que o material usado em suas aulas pode ser utilizado pelos futuros professores; quando planejam atividades práticas; quando se possibilita contextualizar o conhecimento; quando pensam na aplicabilidade do conhecimento. É importante destacar o significado desse pensamento. O reconhecimento do professor na formação do licenciando é fundamental para que ele repense a sua prática docente.

Em se tratando da prática docente, esta pode ser influenciada por diversos fatores: a personalidade do professor é um componente essencial ao seu trabalho. A prática profissional depende

de decisões individuais, mas rege-se por normas coletivas adotadas por outros professores e por regulamentações organizacionais (Sacristán, 1999). Tardif (2012) relata que o trabalho do professor apresenta seus antecedentes pessoais deste, ligados à sua história de vida, à sua personalidade e à sua aprendizagem da profissão. Além disso, o professor traz consigo uma consciência profissional, tudo o que o professor sabe dizer a respeito da atividade, e uma consciência prática, tudo o que o professor faz e diz na ação. A relação desses fatores resulta na prática docente. Sobre esse aspecto, Cappelletti (1992) relata que, ao se pensar na prática pedagógica em sala de aula, não se pode deixar de lado a singularidade de cada ser, sua historicidade, sua participação na sociedade.

Ao se refletir sobre esses aspectos, é importante entender de onde veio esse professor e sua prática. Conhecer sua história de vida pode permitir que ele compreenda nas novas demandas e necessidades de formação do profissional, professor de biologia e/ou suas especificidades.

É importante que os professores reflitam sobre a sua ação em sala de aula. Que estes se questionem sobre o tipo de prática adotadas em sala de aula, se é uma prática na qual existe uma variação na abordagem dos conteúdos de seus cursos; se no preparo de suas aulas há um cuidado com a formação profissional, não um mero repasse de informação; se introduzem novas questões para os alunos, exigindo pesquisa dos estudantes; se, nas suas aulas os conhecimentos clássicos são transmitidos, os impasses, as principais questões, as inovações mais significativas; ou se, nas aulas, prevalecem a rotina, a repetição, a pouca exigência dos estudantes, o pouco conhecimento dos clássicos e novidades das áreas e as poucas inovações metodológicas.

Deste modo, conhecer a sua prática permite que o professor reflita sobre suas aulas e sua forma de conduzir o processo de ensino e aprendizagem. Cabem ao professor as decisões do que melhor pode acrescentar a sua prática e das possibilidades reais da instituição na qual está inserido.

## Referências

- Almeida, M.I. 2012. **Formação do professor do Ensino Superior: desafios e políticas institucionais**. São Paulo: Cortez. 184p.
- Aquino, O.F.; Puentes, R.V. 2011, **Trabalho didático na universidade: estratégias de formação**. Campinas: Editora Línea 145p.
- Brasil. Lei nº 9394/96, de 20 de dezembro de 1996. **Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Diário Oficial. Brasília.
- Brasil, 1998. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Volume 4 – Ciências Naturais – Ensino de quinta a oitava séries**. Brasília: MEC/SEF.
- Brasil, 2006. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC/SEB.
- Cappelletti, I.F. 1992. A docência no ensino de 3º grau. In: D'Antola, A. (org) **A prática docente na Universidade**. São Paulo. EPU, p.13-18.
- Carmo-Oliveira, R. 2007. Iniciativas para o aprimoramento do ensino de botânica. In: Barbosa L.M., Santos Junior, N.A. (orgs.) **A botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais**. Sociedade Botânica do Brasil, São Paulo. p.511-515.
- Carter, J.L. 2004. Developing a Curriculum for the Teaching of Botany. **Plant Science Bulletin**. 40 (2): 42-47.
- Cunha, M.I. 2005. **O professor universitário na transição de paradigmas**. 2ª Ed. Araraquara: Junqueira & Martin editores. 118p.
- Elster, D. 2007. Student interests – the German and Austrian ROSE survey. **Journal Biological education**. 42 (1): 5-11.
- Garcia, C.M.A. 1992. formação de professores, novas perspectivas baseadas na investigação sobre o pensamento do professor. In: Nóvoa, A, (org) **Os professores e sua formação**. Lisboa, Portugal: Dom Quixote. p.51-76.

- Guimarães, L.B. 2005. Desnaturalizando as práticas de ensino de biologia. In: Marandino, M.; Selles, S.E.; Ferreira, M.S.; Amorim, A.C. (org.) **Ensino de biologia: conhecimento e valores em disputa**. Niterói: Eduff. p.171-181.
- Hershey, D.R. 2002. Plant blindness: "we have met the enemy and he is us". **Plant Science Bulletin** 48(3): 78-85.
- Kinoshita, L.S.; Torres, R.B.; Tamashiro, J.Y.; Forni-Martins, E.R. 2006. **A Botânica no Ensino Básico: relatos de uma experiência transformadora**. RiMa, São Carlos. 162 p.
- Menezes, L.C. 1986. Formar professores: tarefa da universidade. In Catani, D.B.; Miranda, H.T.; Menezes, L.C. & Fichmann, R. (org.) **Universidade, escola e formação de professores**. Brasília, Ed. Brasiliense, p. 115-125.
- Menezes, L.C. 2005. Formação para o Trabalho e para a Vida em Sociedade na Universidade. In Rollemberg, M. (org.) **Universidade: Formação e Transformação**. São Paulo. EDUSP. 260p.
- Monteiro, A.M. 2005. Formação docente: território contestado. In: Marandino, M.; Selles, S.E.; Ferreira, M.S.; Amorim, A.C. (org.) **Ensino de biologia: conhecimento e valores em disputa**. Niterói: Eduff. p.153-170.
- Nagle, J. 1986. As unidades universitárias e suas licenciaturas: educadores x pesquisadores. In Catani, D.B.; Miranda, H.T.; Menezes, L.C. & Fichmann, R. (orgs.) **Universidade, escola e formação de professores**. Brasília, Ed. Brasiliense, p.161-172.
- Nóvoa, A. 1992. Formação de professores e profissão docente. In: Nóvoa, A, (org) **Os professores e sua formação**. Lisboa, Portugal: Dom Quixote. p.13-33.
- Nóvoa, A. 1999. O passado e o presente dos professores. In: Nóvoa, A. (org). **Profissão professor**. 2ª Ed. Porto: Portugal: Porto Editora. p.13-34.
- Pérez Gómez, A. 1992. O pensamento prático do professor: a formação do professor como profissional reflexivo. In: Nóvoa, A, (org) **Os professores e sua formação**. Lisboa, Portugal: Dom Quixote. p.93-114.
- Pimenta, S.G.; Anastasiou, L.G.C. 2010. **Docência no Ensino Superior**. 4ª ed. São Paulo: Cortez. 279p.
- Sacristán, J.G. 1999. Consciência e ação sobre a prática como libertação profissional dos professores. In: Nóvoa, A. (org.). **Profissão professor**. 2ª Ed. Porto: Portugal: Porto Editora. p.63-92.
- Silva, J. R. S. 2013. Concepções dos professores de botânica sobre ensino e formação de professores, **Tese** (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica, 208p.
- Schwartzman, S. 1994. O futuro da educação superior no Brasil. In: Paiva, V.; Warde, M.J. **Dilemas do ensino Superior na América Latina**, Campinas, Papirus, p.143-178.
- Tardif, M. 2012. **Saberes Docentes e Formação profissional**. 13ªEd. Petrópolis: RJ: Editora vozes. 325p.
- Wandersee, J.H., Schussler, E.E. 2001. Towards a theory of plant blindness. **Plant Science Bulletin**: 47(1): 2-9.

# O ENSINO DE BOTÂNICA: CONQUISTAS E DESAFIOS

**Leila Macias & Rita de Cássia M. Cóssio Rodriguez**

Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

[lfnmacias@gmail.com](mailto:lfnmacias@gmail.com) e [rita.cossio@gmail.com](mailto:rita.cossio@gmail.com)

## Introdução

Ensinar Biologia tornou-se o grande desafio, na medida em que o ensino não se constitui um campo de conhecimento valorizado e discutido no interior dos Cursos de Graduação, em que pese à formação básica nas licenciaturas. A ênfase dos cursos de Biologia recai sobre as áreas específicas, tanto por necessidade de aprofundamento quanto pela vastidão de produções próprias nas áreas de Zoologia, Botânica, Genética, etc.

Embora se considere superado o modelo 3+1 dos Cursos de formação de professores de Biologia, que enfatizavam as áreas específicas da formação do biólogo e traziam a docência para os últimos anos principalmente através de estágios e de algumas disciplinas de cunho didático-pedagógicas. Mesmo assim, na concepção dos professores e na maioria das práticas evidenciadas nos cursos de licenciatura, este modelo ainda vigora, na medida em que os assuntos tratados nas disciplinas específicas não se vinculam aos das disciplinas ditas pedagógicas e vice-versa.

Como reflexo, temos professores da educação básica formados num contexto dicotômico entre áreas da biologia e ensino, teoria e prática, saber científico e saber cotidiano.

Entretanto, os debates, pesquisas e discussões atuais, têm buscado a superação destas barreiras, pautando, desde a graduação, a interface entre os campos de saber, assim como pela busca de estratégias teórico-práticas que qualifiquem o Ensino, prioritariamente, na Educação Básica.

Neste contexto, caberá ao professor das disciplinas, sejam pedagógicas, sejam específicas, buscar o entrelaçamento entre os campos, encontrando as brechas e as interfaces possíveis, o que pode se constituir em tarefa complexa, pois adentra temáticas que nem sempre são do seu domínio.

Porém a superação, através do diálogo entre campos de conhecimento, tem permitido avançar neste sentido, demonstrando caminhos possíveis, como podemos perceber no Ensino de Botânica, foco deste artigo, que pretende debater os caminhos, desafios e perspectivas que vem sendo buscados nesta interface, área da biologia, área do ensino, compreendendo-os como faces da mesma moeda, que se complementam, partilham, dialogam e contribuem significativamente entre si.

## Ensino de Biologia e a formação de professores: de que lugar falamos?

Ensino de Biologia, como uma área específica, não existe por si, como essência, tendo em vista ser a Biologia uma área de estudos que contemplam especificidades, pesquisas e saberes próprios. Mas podemos falar de “ensinos de biologia”, situado em múltiplos contextos e saberes.

Como aponta Marandino,

*O ensino de Biologia remete-nos à existência de um campo de estudos, de pesquisa e de práticas sustentado por uma comunidade de educadores e pesquisadores cujas referências são as atividades de cunho didático que conferem sentido a esse campo. Existe uma interdependência social e epistemológica entre as dinâmicas que constituem teoricamente esse campo e as quais constituem o ensino de biologia em seus diferentes espaços (...) o que chamamos de ensino de biologia não possui uma existência abstrata ou anistórica; assim, existem muitos ensinos de biologia, ou muitas versões de ensino de biologia, inscritos e produzidos em múltiplos contextos e em intrincadas relações, envolvendo sujeitos e instituições em seus espaços e tempos. (2009, pág.21)*

Porém, o cientificismo que ainda permeia a sociedade e, mas especificamente o Ensino de Biologia, indicam rupturas que precisam ser feitas, tanto nas perspectivas de formação de professores de Biologia, quanto nas práticas desenvolvidas dos diferentes níveis de ensino, historicamente alinhados e aliados com o paradigma moderno, visão cartesiana da realidade e o afastamento do saber produzido do contexto social.

A formação que se pretende hoje busca aliar as bases epistemológicas que a fundamentam, com a prática da sala de aula, entendendo que o profissional se constrói neste ir e vir, na e para a prática, na chamada “epistemologia da prática”, ou seja, um conhecimento que se constrói e se dá na ação e na teorização/reflexão desta ação.

Os debates pedagógicos contemporâneos têm tido a preocupação em construir uma epistemologia da prática docente (Tardif 2006), atentos justamente a este movimento que caracteriza a educação, tomando como base as relações que ocorrem no ato de ensinar e aprender e análise do contexto em que ocorrem essas relações.

Esta compreensão altera de forma significativa, os percursos pedagógicos, os fazeres e saberes docentes, currículos e organizações pedagógicas, na medida em que possibilita um permanente repensar sobre o fazer, em protagonismo, autoria e diálogo.

Embasados nos apontamentos da “epistemologia da prática profissional”, buscando rupturas, protagonismos e inovações, compreendemos a necessidade de perseguir as vivências concretas, as relações práticas de trabalho e os embates que a própria prática traduz como princípios inerentes à formação de professores e a constituição da própria professoralidade e da identidade profissional do professor de Biologia, que emergirá desta interface, saberes dos campos da biologia, com os saberes da prática pedagógica.

A busca da profissionalidade docente, como resultado dos esforços no sentido de fortalecer o campo pedagógico e os próprios professores se justifica pela necessidade de qualificar a educação e tornar evidente a sua importância social num cenário profissional, notadamente o da universidade, em que disputam diferentes instâncias de poder, onde a docência ainda não é um lugar de destaque.

## **Docência, Ensino, Aprendizagem Significativa e o Ensino de Botânica**

Entendendo a formação de professores a partir de outras abordagens, buscou-se estabelecer a professoralidade, a reflexão crítica das práticas e a criação de estratégias de Ensino de Biologia, e mais especificamente, de Botânica, aproximadas ao fazer docente para, neste ir e vir da práxis, buscar a qualificação almejada em ambos os espaços, o da escola e o da universidade.

Diferentes recursos teóricos são propostos para a compreensão dos processos de ensino-aprendizagem, mas salientam-se os que mais se evidenciam, principalmente para o Ensino de Ciências e Biologia, como nos auxiliam Bastos e Nardi, 2008

*É nossa opinião que devemos nos esforçar para identificar as contribuições relevantes que a pesquisa em ensino de ciências vem produzindo a partir de diferentes enfoques e evitar que o apego a essa ou aquela tendência, perspectiva ou abordagem nos imponha limitações de pensamento e ação. Em uma palavra, o que nos parece relevante e necessário é aceitar e fomentar a pluralidade das interpretações que se mostrem sérias e bem concebidas. (Bastos & Nardi, 2008, pág. 12)*

O chamado “construtivismo pedagógico”, fundamentado em diversas teorias, que em uma primeira análise, podem parecer dicotômicas e confluais entre si, mas que extrapolam os próprios teóricos quando se referem a prática considerada como “construtivistas”.

Autores como Piaget, Vygotsky, Ausubel, são apontados como produtores de uma “concepção construtivista do ensino e da aprendizagem”. E, em que questionarmos até que ponto estas teorias possibilitam de forma justificada uma complementação ou colaboração entre si, percebe-se em ambos a indicação de uma prática que privilegie as ideias prévias ou pré-requisitos cognitivos dos alunos, que enfatize a aprendizagem significativa e não somente memorizada, que respeite o nível cognitivo e a vivência sócio-cultural do aluno, que seja permeada por problematizações, buscas e organizações do conhecimento (o chamado conflito cognitivo e a aprendizagem por resolução de problemas), valorizando atividades de construção em interação ativa com o objeto do conhecimento, como salientado por Massabni (2007).

Com estes apoios para compreensão do processo pedagógico, mas embasados principalmente nos aportes teóricos de Ausubel (1968), enfatizaremos neste trabalho os conceitos de aprendizagem, mas no indicado pelo autor, como **Aprendizagem significativa** e as estratégias de aprendizagem e ensino que possibilitam.

David Ausubel, pesquisador da aprendizagem, afirma que se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, destacaria que o fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe.

A esse conjunto de conhecimentos que o aluno nos apresenta denominamos conhecimentos prévios. Assim entendemos que o conhecimento deve ser organizado de forma a relacionar-se com o conhecimento prévio do aluno, para que se torne significativo e por consequência compreensível e assimilável.

Promover a aprendizagem significativa dos conceitos, para além da memorização mecânica e descontextualizada, num ambiente provocador, criativo e instigante, não é tarefa simples para os professores, imersos em um contexto escolar tradicionalmente reprodutivista. A aprendizagem significativa, teoricamente proposta por Ausubel (1980), amplamente utilizada como referencial importante na concepção construtivista do processo ensino-aprendizagem, foi considerada por diversos autores como de difícil aplicação, o que nos leva a referenciar que para que a aprendizagem significativa ocorra, torna-se necessário o estabelecimento de relações entre o que o aluno já sabe e o conceito a ser aprendido, assim como da criação de estratégias que instiguem o aluno a querer aprender.

Adaptar o ensino às estratégias de aprendizagem dos alunos não é fazer com que a didática se “adapte” individualmente a cada sujeito, nem ignorar as diferenças e diversidades existentes. É, ao contrário, descobrir aquilo que pode variar em seu ensino, como se podem negociar as situações-problemas, flexibilizar (não eliminar) as programações didáticas, organizar as propostas.

Através destas estratégias, o professor encontra modos, formas, situações, em que o proposto por ele evidencia e estabelece conexões, tanto conceituais, quanto lógicas e significativas com os conteúdos a serem aprendidos.

Assim como as questões relativas ao ensino não tem sido enfatizadas na formação de professores de Biologia, o ensino de botânica se coloca em segundo plano na estrutura curricular da maioria das escolas de Educação Básica e na prática dos professores de Biologia.

Em geral, os conteúdos são ministrados no final do ano, de forma genérica e superficial, encontrando, nos docentes, diversas justificativas para este fato, entre elas, as dificuldades com os conhecimentos da área, a ausência de materiais e recursos, a complexidade do currículo e o tempo que pode ser dedicado a seu ensino. Esta realidade, causando defasagens nos conhecimentos dos alunos e na escolarização oportunizada, requer urgente revisão, seja com a inclusão de novas estratégias e recursos para o Ensino e aprendizagem de Botânica, seja através de propostas de formação de professores que contemplem novas formas de abordar os conceitos.

A Botânica, presente em todos os nossos momentos cotidianos, ensinada a partir destas vivências, de forma significativa, com recursos vários e, que muitas vezes, não exigem equipamentos complexos, pode se tornar dinâmica, envolvente, apaixonante para alunos e professores que se colocam nesta busca. A Sociedade Botânica do Brasil e o seu Núcleo de Ensino de Botânica há alguns anos proporcionam aos professores da rede pública de ensino na cidade sede de seus congressos nacionais, oficinas e minicursos que contextualizam essas práticas. Para Macias *et al.* (2012), mesmo sabendo que a Botânica participa ativamente das nossas atividades diárias, depara-se ainda com um grande distanciamento entre o que se aprende na escola e a sua aplicação na realidade do aluno. Isso permite questionar qual a dificuldade em promover um bom ensino de botânica: a elaboração de aulas práticas? A complexidade dos conceitos e o despreparo para organizar transposições didáticas? Cuida-se que os professores possuem um potencial criativo, mas nem sempre o utilizam e se mantém previsíveis. Como poder-se-á reverter este quadro e oportunizar a aprendizagem significativa dos conceitos?

Na busca pela compreensão e construção de alternativas para estas questões, precisamos entender que os conhecimentos escolares não são meras reproduções dos saberes específicos das áreas de conhecimento produzidos em contexto de pesquisa, assim como os saberes cotidianos não podem ser reproduzidos de forma real no contexto escolar. O conhecimento escolar apresenta formas, organizações e produções específicas que necessitam que estes saberes, o científico e o do senso comum, sejam ressignificados.


Os conceitos em qualquer área do conhecimento, mas principalmente em Biologia, para serem ensinados e aprendidos, necessitam de **transposições didáticas** que os permitam serem “ensináveis” e “aprendíveis”. Não basta ao professor ‘transferir’ um conhecimento produzido em contexto científico para a sala de aula, ou simular uma situação cotidiana, é necessário que, metodologicamente, organize significativamente a aprendizagem, estabelecendo as relações entre o senso comum, o conhecimento científico e o processo cognitivo do aluno.

Aproximar os conhecimentos formais dos contextos de vida, tornando a sala de aula repleta de significados, partindo dos conhecimentos que os alunos já possuem, dos objetos do entorno, do envolvimento do aluno processo de aprendizagem, tornam-se o ponto de referência de onde a aprendizagem da botânica será construída, para além do mecanicismo e da memorização de termos, oportunizando que se tornem a base para outros conhecimentos.

Em um contundente artigo Wandersee & Schussler (2001), se reportam a “Cegueira Botânica” mostrando que há uma enorme desconsideração com a área, caracterizada como a dificuldade em reconhecer a importância das plantas na biosfera e sua relação com a vida humana, valorando-as como inferiores aos animais. Igualmente Minhoto, no artigo “Ausência de músculos ou por que os professores de biologia odeiam Botânica” mostra que ensinar a *Scientia amabilis* é uma tarefa desafiadora e, frequentemente, assustadora!

Algumas iniciativas de formação continuada para professores da educação básica são encontradas na USP, documentadas em Kinoshita *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2012). Já a tese de Silva





(2013) marca a investigação da percepção sobre o ensino de botânica em professores universitários que atuam nas licenciaturas, trazendo as reflexões pedagógicas na forma da necessidade de uma formação continuada também no ensino superior. Hoje, encontramos vários professores do Ensino Básico, buscando subsídios para o aperfeiçoamento do ensino de botânica dentro dos programas de pós-graduação, sejam eles acadêmicos ou profissionais. Alunos dos cursos de licenciaturas em Ciências Biológicas, elaborando Trabalhos de Conclusão de Curso com suas experiências nas escolas com temas referentes a Botânica. Programas patrocinados pelo MEC, tais quais Novos Talentos e PIBID, proporcionam aos alunos das licenciaturas e professores da rede pública oportunidade de transitarem em duas vias: os alunos podendo aplicar o que aprenderam na universidade e os professores das escolas num total processo de Formação Continuada.

A partir da dificuldade em desenvolver o conceito de frutificação, Oliveira (2013) se propôs investigar as potencialidades da tecnologia denominada Realidade Aumentada como recurso potencialmente significativo para o desenvolvimento de uma Aprendizagem Significativa deste conceito. Tecnologia esta que permite a visualização e interação do aluno com estruturas tridimensionais previamente modeladas pelo professor, atendendo as particularidades necessárias para cada conteúdo.

Uma forma de superar a “cegueira botânica”, a fim de possibilitar o ensino da botânica de forma contextualizada e propiciar o contato com a vegetação do local, são as saídas de campo. Para Chapani & Cavassan (1997, p.34), o estudo do meio é uma estratégia de ensino de Ciências e se caracteriza por utilizar espaço extraclasse a fim de promover atividades que levem à construção e à ampliação do conceito de ambiente.

Saídas de campo, aulas práticas e recursos didáticos são iniciativas que podem ser pontuadas como características atuais na qualificação do ensino de botânica. Em busca de subsídios para caracterizar o desenvolvimento desta área de ensino foram encontrados, no banco de Teses da CAPES, usando as palavras-chave “ensino de botânica”, quase 50 trabalhos. Em uma leitura preliminar, foi possível identificar que os trabalhos eram voltados para vários focos: Educação Ambiental, educação formal do Ensino Médio, Fundamental e Superior, concepções e formação de professores, pesquisa histórica documental sobre o expoente botânico, livros didáticos e etnobotânica e espaços não formais de educação.

No ensino de botânica na graduação, destaca-se a também a dissertação de Pucinelli (2010), que trata do entendimento dos conceitos de flor e fruto dos alunos do curso de Ciências Biológicas.

Nesse panorama, foi possível identificar que o ensino de botânica vem apresentando uma ampliação em termos de investigações, sendo problematizado do Ensino Fundamental até o Ensino Superior a partir de vários enfoques: desde o entendimento e construção de conceitos, até a criação de estratégias e do uso de materiais didáticos, passando pela formação de professores.

Os livros didáticos que têm a vantagem de reunir as informações, disponibilizar imagens e possibilitar a muitos alunos é, talvez, o único acesso possível a livros impressos. Mesmo assim, é apenas um dos recursos a serem utilizados, e que pode, e deve, ser enriquecido com fontes variadas de informação e estratégias de ensino fundamentadas. Em muitas situações, e no ensino de Botânica não é diferente, ele, o livro didático, é mais que um auxiliar, muitas vezes é tudo nas mãos do professor, para Sano (2004), tem um papel importante no ensino, mas sua utilização inspira parcimônia. Por conta dessa distorção no papel desempenhado por esse instrumento, cada vez mais é necessário todo cuidado não apenas na escolha como também no uso de livros didáticos em sala-de-aula.

## Considerações Finais

A partir dos referenciais de aprendizagem e ensino, do professor como profissional prático reflexivo, da necessidade de mudança na prática adotada nas escolas e nas universidades para o Ensino de Botânica, entende-se que o professor deixa de ser aquele que transmite informações para ser o

criador de situações de aprendizagem, mediando o processo. Promover a aprendizagem significativa, partindo dos conhecimentos que o aluno já possui e do seu contexto de vida, faz com que a Botânica deixe de ser área abstrata, descontextualizada e desprestigiada no currículo escolar, vinculando conhecimentos científicos com os de senso comum, privilegiando a construção dos conceitos através de atividades envolventes e contextualizadas.

Ensinar, e aprender, Botânica deve se traduzir num ato criativo, prazeroso e significativo, desde que a universidade, a escola e o professor se proponham para tal.

## Referências

- Ausubel, D.P., Novak, J.D; Hanesian, H. 1980. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericano.
- Bastos, Fernando; Nardi, Roberto; Diniz, Renato Eugênio Da Silva. 2004. (org) **Pesquisa em Ensino de Ciências: contribuições para a formação de professores**. São Paulo: Escrituras Editora,
- Bastos, Fernando; Nardi, Roberto. 2008. **Formação de professores e prática pedagógica no ensino de Ciências**. São Paulo: Editora Escrituras,
- Chapani, D. T.; Cavassan, O. O estudo do meio como estratégia para o ensino de ciências e educação ambiental. **Mimesis**, Bauru, v. 18, n. 1, p. 19-39, 1997.
- Kinoshita, L.S., Torres, R.B., Tamashiro, J.Y., Forni-Martins, E.R. 2006. **A Botânico Ensino Básico: relatos de uma experiência transformadora**. São Carlos: RiMa.
- Macias, L.; Lüdtke, R.; Rodriguez, R.C.C.M. ; Thurow, C.V. ; Vieira, T.D. ; Rockenbach, M.E. ; Oliveira, J.H.F. *et al.* 2012. A Botânica na Prática. In: Kuss, A.V., Lüdtke, R. (Org.). **O ensino de Biologia no contexto do Programa Novos Talentos**. Pelotas: Cópia Santa Cruz Ltda , vol. 1, p. 69-85.
- Marandino, M.; Selles, S. E.; Ferreira, Márcia Serra, 2009. **Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos**. São Paulo: Cortez.
- Massabni, V.G. 2007. O construtivismo na prática de professores de ciências: realidade ou utopia? **Ciências & Cognição** 10: 104-114.
- Minhoto, M. J. 2012. **Ausência de músculos ou por que os professores de biologia odeiam Botânica**. Disponível em: <<http://www.botanicasp.org.br/educacao>>. Acesso em: 29 out. 2012.
- Moreira, M.A. 1999. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: UNB.
- Oliveira, A.B. 2013. **A realidade aumentada como recurso potencialmente significativo para a aprendizagem sobre o processo de frutificação**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Pelotas.
- Pucinelli, R.H. 2010. **Aprendizado dos conceitos de flor e fruto e sua utilização pelos alunos de ciências biológicas do IB**. Dissertação. (Mestrado) Universidade de São Paulo.
- Sano, P. T. 2004. Livros Didáticos. In: Santos, D.Y.C.; Ceccantinni, G. **Proposta para o ensino de botânica: Curso para atualização de professores da rede pública de ensino**. São Paulo: EDUSP, p. 43-44.
- Santos, D.Y.; Chow, F.; Furlan, C.M. **A botânica no cotidiano**. São Paulo: Holus, 2012.
- Silva, J. R. 2013. **Concepções dos professores de Botânica sobre o ensino e a formação de professores**. Dissertação. (Mestrado) Universidade de São Paulo
- Tardif, M. 2006. **Saberes docentes e formação profissional**. 6. ed. Petrópolis: Vozes.
- Wandersee, J.H.; Schussler, E.E. 2001. Towards a theory of plant blindness. **Plant Science Bulletin** 47: 2-9.

# TORNANDO A BOTÂNICA MENOS ASSUSTADORA: CURSOS DE ATUALIZAÇÃO PARA PROFESSORES DA EDUCAÇÃO BÁSICA

**Déborah Yara Alves Cursino dos Santos**

Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, São Paulo, SP, Brasil.

[dyacsan@ib.usp.br](mailto:dyacsan@ib.usp.br)

Sabemos da dificuldade enfrentada por professores da educação básica em trabalhar o conteúdo de Botânica. Diversos são os argumentos: muitos nomes, muita informação para ser decorada, dificuldade no preparo de aulas práticas e, o mais surpreendente, dificuldade em aproximar o conteúdo com o dia-a-dia dos estudantes. Assim, vários desses professores acabam desestimulados e, conseqüentemente, não conseguem estimular seus alunos.

O ensino de Biologia se organiza ainda hoje de modo a privilegiar o estudo de conceitos, tornando a aprendizagem pouco eficiente para interpretação e intervenção na realidade (Borges & Lima 2007). A Botânica, assim como as outras disciplinas, é ensinada visando a reprodução do conteúdo, com ênfase na repetição e não no questionamento, sendo o professor a principal fonte de informação, a qual aparece totalmente descontextualizada (Towata *et al.* 2010). Rawitscher, já na década de 1930, ressaltava a necessidade de tornar a Botânica no ensino secundário uma disciplina menos “enfadonha”. No entanto, o ensino de Botânica, ainda hoje, é muito teórico. A falta de recursos nas escolas, de modo geral, e, principalmente, melhor preparo dos professores são pontos cruciais que dificultam uma alteração definitiva desse quadro.

Podemos somar à lista de dificuldades a chamada “cegueira botânica” (“Plant blindness”). Esta expressão foi inicialmente proposta por Wandersee and Schlusser em 1998 afim de definir “a incapacidade das pessoas em ver ou notar as plantas ao seu redor”, ou seja, ressalta: (a) a incapacidade dos humanos em reconhecer a importância das plantas na biosfera e para a própria manutenção da humanidade, (b) a incapacidade das pessoas de apreciar e valorizar as plantas, como algo mais que componentes da paisagem ou objetos de decoração, e (c) a visão antropocêntrica equivocada de que plantas são seres inferiores aos animais, o que leva à conclusão errônea de que eles não seriam dignas de consideração humana (Prakash 2010).

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996 expressa urgência de reorganização da Educação Básica, a fim de dar conta dos desafios impostos pelos processos globais e pelas transformações sociais e culturais por eles geradas na sociedade contemporânea, na área das ciências biológicas (Borges & Lima 2007).

Visando contribuir com a desmistificação da Botânica no contexto escolar, auxiliar os professores a atender o desafio lançado pela LDBEN, e encoraja-los a lançar mão de novas estratégias didáticas nas suas aulas, nos últimos 10 anos temos realizado cursos de atualização para professores da Educação Básica com tópicos clássicos da Botânica, numa abordagem simples e moderna, com a missão de estimular o interesse desses educadores pelo assunto e propiciar uma mudança nas suas

aulas, de modo a torna-las mais interessantes aos seus alunos. Em outras palavras, esperamos que ao estimular os professores, eles atuem como agentes multiplicadores, estimulando seus alunos a perceber a importância da Botânica no nosso cotidiano.

Como já comentado anteriormente, é sabido que, no geral, nas escolas faltam condições de infra-estrutura. Por isso, um dos pontos mais importantes nesses cursos é o desenvolvimento com os professores participantes de aulas com materiais de fácil acesso e baixo custo, além de propostas dimensionadas ao tempo médio das aulas nas escolas.

Dentre os diversos temas, dois merecem destaque: (a) A importância das plantas no dia-a-dia e (b) O professor vai as compras. Na primeira, diversos materiais do cotidiano (p.ex. xampu, creme dental, embalagens de alimentos, peças de artesanato, etc) são apresentados aos participantes, os quais devem discutir se naqueles materiais há derivados de planta. No caso da feira, a proposta é reconhecer as principais partes do corpo de uma angiosperma (raiz, caule, folha, flor, fruto e semente) nos materiais disponíveis na feira livre (Figura 1).

Desde o início dos nossos cursos em 2004, foram ministradas 10 edições com a participação de cerca de 400 professores. As impressões sobre o curso têm sido muito satisfatórias tanto no aspecto formal, ou seja, no desenvolvimento das aulas propriamente dito, quanto numa avaliação mais intuitiva/emocional ligada à quebra do bloqueio com os temas.

Mais de 90% dos participantes afirmaram que sua opinião sobre o ensino de Botânica mudou de alguma forma após o curso, não somente pelo conhecimento de novas estratégias didáticas, como pela ampliação dos conhecimentos sobre a Botânica propriamente dita. Assim como o resultado da pesquisa feita por Towata *et al.* (2010), há uma mudança de paradigma nos professores, percebendo que há formas simples de tornar a aula de Botânica prazerosa, sem a necessidade obrigatória de infra-estrutura e/ou equipamentos sofisticados.

A importância das aulas práticas e/ou desenvolvimento de projetos são apontados como formas muito adequadas e efetivas de vivenciar o método científico (Krasilchik 2008). As aulas práticas, como ressalta a autora, pode: (a) despertar e manter o interesse dos alunos, (b) envolver os estudantes em investigações científicas, (c) desenvolver a capacidade de resolver problemas, (d) compreender conceitos básicos e (e) desenvolver habilidades.

No caso da Botânica, utilizar aulas práticas como estratégia didática também tem sido muito significativo no aprimoramento da aprendizagem. No caso dos dois temas abordados aqui, ambos oferecem uma grande oportunidade de relacionar os conteúdos teóricos com o cotidiano e perceber que a matéria aprendida nos livros não está distante do seu cotidiano.

Dessa forma, acreditamos que a temos atingido plenamente os nossos objetivos, contribuindo em tornar a Botânica menos assustadora aos professores e, assim esperamos, aos seus alunos.



**Figura 1.** (A) Dinâmica de uma aula com os professores. (B) Rizoma de gengibre - Exemplo de material da aula de morfologia. (C) Materiais usados na aula de plantas no dia-a-dia.



## Referências

- Borges, R.M.R. & Lima, V.M.R. 2007. Tendências contemporâneas do ensino de Biologia no Brasil. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** 6(1): 165-175.
- Kinoshita, L.S., Torres, R.B., Tamashiro, J.Y., Forni-Martins, E.R. 2006. **A Botânica no Ensino Básico: relatos de uma experiência transformadora**. RiMa, São Carlos.
- Prakash, B. 2010. **Plant Blindness**: What research says. <http://www.ecowalkthetalk.com/blog/2010/06/02/plant-blindness-what-research-says/> (acesso 01.05.2014)
- Towata, N., Ursi, S., Santos, D.Y.A.C. 2010. Análise da percepção de licenciandos sobre o “Ensino de Botânica na Educação Básica”. **Revista da SBEnBio** 3: 1603 – 1612.

# O ENSINO DE BOTÂNICA NO SUDOESTE DA BAHIA

**Guadalupe Edilma Licona de Macedo<sup>1</sup>; Rogersia Moreira Santos<sup>2</sup>  
& Sandreane Amaral de Oliveira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Formação de Professor, Jequié, Brasil.

[gmacedo\\_3@yahoo.com.br](mailto:gmacedo_3@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Biológicas, Herbário HUESB, Jequié, Brasil.

## Introdução

Em suas discussões, Kinoshita e colaboradores (2005) delinearam o ensino tradicional de Botânica com a característica de ser teórico demais, sendo o seu ensino muitas vezes pautado em livros que davam exemplos de plantas exóticas. Além disso, existe o fato de que o ensino tradicional de Botânica tem-se caracterizado como desestimulante para os alunos, além de ser uma área subestimada dentro do próprio ensino das Ciências Biológicas. O ensino de Botânica adquire uma complexidade ainda maior, uma vez que o ensino meramente descritivo não atende aos interesses de uma classe estudantil que esbarra em contínuas mudanças e avanços tecnológicos, chegando a causar aversão e total desinteresse nos alunos (Alves & Garcia 2000). Krasilchik e Trivelato (1995) revelam que o enfoque tradicional e sistemático com que a Botânica vem sendo tratada reflete no baixo rendimento dos alunos nesse conteúdo. Esta constatação é mais dramática quando em seus estudos, Nogueira (2000) verificou que os alunos, de modo geral, nem correlacionam o vegetal como um ser vivo.

Para Martins e Santana (2006) as novas metodologias de educação devem fazer uma relação entre o que é aprendido na sala de aula com aquilo que o aluno vivencia em seu dia a dia. Então, é plausível pensar que tais problemas, descritos acima, limitantes do ensino e de aprendizagem de Botânica também estejam relacionados às atividades práticas em aulas.

Vida é dinamismo e, é também movimento. Sendo assim, não é difícil concluir, mesmo para as crianças das séries iniciais do Ensino Fundamental, que os animais estão vivos, afinal, gato, cachorro, pássaros podem ser vistos correndo, voando de um lado para outro. A vida é dinâmica, todos veem que os animais estão vivos, e ninguém se espanta quando ouve o professor anunciar em sala de aula que os animais são seres vivos. Esse pragmatismo cognitivo “seres vivos se movimentam”, no entanto, pode gerar dificuldades quando o tema de aula é os vegetais (Costa 2005).

E como poderia ser diferente? Como se poderia convencer uma criança de que ervas, arbustos e principalmente árvores, são seres vivos? Se de fato, são duras e aparentemente insensíveis, árvores ficam o tempo todo imóveis, igualmente que uma pedra ou uma montanha que é imóvel e evidentemente não estão vivas (Costa 2005).

O problema se agrava ao percebermos que os professores do Ensino Fundamental (licenciados ou não) não estão habituados a lidar com plantas vivas de um modo dinâmico (Oliveira & Macedo 2007). Isto em parte tem a ver com sua própria formação.

Este fato contribui para que o assunto seja tratado de forma sem compromisso e rápida. Foi constatado também por Oliveira & Macedo (2007), que tais problemas ocorrem em parte devido à ausência de atividades práticas, bem como a falta de preparo das aulas e a preferência de professores e alunos por outros assuntos em detrimento dos conteúdos da Botânica seja pela dificuldade no uso de uma grande quantidade de terminologias, por causa de se ter maior contato com animais do que com as plantas, e pelo fato das plantas não se locomoverem.

Verifica-se ainda, que nas universidades brasileiras o ensino de Botânica é fundamentado em aspectos descritivos da disciplina (Tashimiro *et al.* 2005), que os professores estão contribuindo de forma significativa para a disseminação da ideia de que a Botânica é uma ciência de pouca importância, desmotivando suas aulas com a aplicação de métodos tradicionais de ensino, mantendo-as restritas a utilização frequente de livros e transparências, falta de atividades práticas, quase sempre limitados ao espaço físico de uma sala de aula onde o principal recurso é o quadro branco. Nas escolas, de modo geral, faltam condições satisfatórias de infraestrutura e melhor preparo dos professores para modificar essa situação. Muitos professores fogem das aulas de Botânica, relegando-as ao final da programação do ano letivo, por medo e insegurança em falar do assunto. Segundo Oliveira & Macedo (2007) uma das maiores reclamações registradas pelos professores é a dificuldade em desenvolver atividades práticas que despertem a curiosidade do aluno e mostrem a utilidade daquele conhecimento no seu dia-a-dia. A troca de conhecimento da Botânica torna-se mais fácil por meio de práticas frequentes por meio do diálogo ou interlocução entre o discente e o docente.

Com base nos estudos realizados para Jequié (Amaral 2006; Oliveira & Macedo 2007) cujos resultados mais uma vez apontam que o ensino de Botânica também é visto pelos alunos como tradicional, muito teórico e desestimulante subestimado pelos professores dentro do próprio ensino de Ciências e de Biologia surge em 2008, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (campus de Jequié) o projeto "Ensinando Aprender Botânica no Ensino Básico" como atividade de extensão e um grupo de pesquisa sobre o ensino de Botânica. No projeto e no grupo, são discutidos os resultados das atividades desenvolvidas e testadas diferentes estratégias para o ensino dessa ciência tanto por membros da equipe, alunos da graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas e da Pós-Graduação em Educação Científica e Formação de Professores - PPECFP, que tem suas publicações em revistas, Seminários e Congressos Nacionais e Internacionais.

Os resultados do Projeto e as pesquisas no Ensino de Botânica desenvolvidas pelo grupo refletem o Estado da Arte do Ensino de Botânica no Sudoeste da Bahia.

O projeto vem desenvolvendo novas técnicas na produção do conhecimento para o ensino e aprendizagem de Botânica com alunos e professores de Ciências Biológicas. É feita uma revisão das práticas pedagógicas reorganizando os conteúdos trabalhados, elegendo um conjunto de temas que sejam relevantes para o aluno, incentivando o uso de aulas práticas e o contato com a natureza utilizando novas estratégias metodológicas. O objetivo é promover entre os alunos e professores de Ciências Biológicas mudanças no ensino de Botânica mediante a utilização de práticas pedagógicas motivadoras capazes de tornar o aprendizado da Botânica dinâmico e agradável, capaz de despertar no sujeito a importância dos conhecimentos e utilizá-los para qualificar a sua vida e interferir positivamente na comunidade da qual faz parte.

## Metodologia

O projeto é desenvolvido em dois momentos denominados de I e II etapa.

A I etapa consiste na capacitação de professores mediante a realização de curso e oficinas pedagógicas sobre o ensino teórico-prático de Botânica em Jequié e municípios circunvizinhos do Sudeste e Sudoeste baiano.

Esta ação é executada em locais diferentes de forma independente em momentos distintos e meses diferentes. Para sua realização, toda ou parte da equipe desloca-se para o município escolhido como sede da ação. Durante esta etapa os assuntos abordados são divididos em duas partes. A primeira parte é uma introdução onde são abordados os seguintes temas: 1) O Conteúdo de Botânica exigido nos parâmetros curriculares; 2) Atividades práticas no ensino de Botânica; 3) Como transformar uma sala de aula em laboratório; 4) Cuidados que devem ser observados na preparação de aulas práticas e 5) Sistemática do reino vegetal. A segunda parte corresponde ao desenvolvimento de atividades práticas de: 1) Anatomia e Morfologia de Angiospermas (Raiz, Caule, Folha, Flor, Frutos, Sementes); 2) Fisiologia (A planta transpira, Influência da luz no desenvolvimento dos vegetais, Direção do crescimento das plantas e Germinação de sementes); 3) Sistemática vegetal (Algas, Briófitos, Pteridófitos, Gimnospermas e Angiospermas); 4) Atividades práticas ligadas ao meio ambiente. Ex. Montagem de um terrário, Mini – Horta, Identificação de espécies e colocação de placas com os nomes respectivos às árvores da escola, Construindo parques e jardins.

Na II etapa é feito o acompanhamento dos professores participantes do projeto nos anos 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013, assim como dos novos participantes dos municípios de Jequié, Itiruçu, Maracás, Jaguaquara, Itagi e Aiquara objetivando auxiliar na aplicação em sala de aula dos conteúdos que foram trabalhados nas oficinas sobre o ensino teórico-prático de Botânica.

Para o cumprimento desta etapa a equipe acompanha os participantes do projeto na execução das atividades trabalhadas nas oficinas em suas respectivas classes. Para receber o atendimento da equipe, o participante deve dirigir-se ao Departamento de Ciências Biológicas/DCB e solicitar a ajuda de um dos integrantes da equipe, podendo o mesmo, inclusive, deslocar-se até o local de trabalho do solicitante sempre que possível.

A avaliação das atividades é feita de forma contínua no decorrer do desenvolvimento das atividades pelos componentes da equipe (professores, colaboradores e estagiários) observando a motivação, compromisso, assiduidade e interesse despertado nos participantes e pela aplicação de questionários prévios e fichas de avaliação entregues aos participantes ao final de cada atividade.

As respostas aos questionários são categorizadas e analisadas pela equipe. As análises dos questionários constituem-se por sua vez nos resultados de trabalhos individuais e de conclusão de curso (TCC) de alunos participantes do grupo de pesquisa e de trabalhos apresentados em Reuniões, Seminários, Congressos Nacionais e Internacionais (e.g., Tab. 1). As diferentes estratégias de ensino utilizadas e produzidas nos cursos e oficinas têm sido aplicadas e avaliadas por estudantes da Pós-graduação em Educação Científica e Formação de Professores também como parte de pesquisas individuais de dissertação do mestrado.

## Resultados

Desde sua criação em 2008 foram inscritos no projeto 216 profissionais dos quais participaram efetivamente dos cursos e oficinas 187 professores de Ciências e Biologia sendo estudantes da graduação e licenciados em Ciências Biológicas, Pedagogia, Letras, Matemática, Filosofia, Serviços Sociais, História, Magistério do Ensino Médio (e.g., Fig. 1).

Os resultados mostram alguns aspectos que influenciam no processo de ensino aprendizagem assim como na ação pedagógica dos professores participantes dos cursos e oficinas do projeto. Para averiguação das ações pedagógicas, vários contextos foram levados em consideração com o intuito de abordar situações adversas no qual o professor atua como principal mediador, responsável pelas escolhas e atitudes metodológicas no processo ensino /aprendizagem nas escolas, onde tais docentes atuam na região de Jequié e municípios circunvizinhos.



**Tabela 1.** Produção científica anual sobre o ensino de Botânica no Sudoeste da Bahia, Brasil.

ARTIGOS PUBLICADOS	
1	Macedo, G.E.L. & Duarte, A.C.S. 2011. Usando o Cotidiano para Ensinar Botânica. <b>Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología</b> , v. 10: 894-899.
2	Bittencourt, I.M.; Macedo, G.E.L. & Odetti, H.S. 2013. Tendências do Ensino de Botânica em periódicos brasileiros e argentinos: uma análise preliminar. <b>Revista Aula Universitária</b> : Santa Fé, Argentina.
RESUMOS PUBLICADOS EM ANAIS DE EVENTOS	
1	Amaral, S.O.; Macedo, G.E.L. & Razera, J.C.C. 2013. Um perfil do ensino de Botânica em uma escola de Jequié, Bahia. In: <b>Anais V EREBIO - Encontro Regional de Ensino de Biologia, Natal. V EREBIO - Encontro Regional de Ensino de Biologia</b> : Natal.
2	Sousa, A.F. & Macedo, G.E.L. 2013. A visão dos alunos de uma turma de 2º ano do ensino médio em uma escola da rede pública de Jequié sobre as plantas. In: Anais do <b>V EREBIO - Encontro Regional de Ensino de Biologia: Natal</b> .
3	Souza, A.F. & Macedo, G.E.L. 2013. Conhecimentos prévios dos alunos de uma turma do 2º ano relacionado às plantas. In: Anais <b>64º Congresso Nacional de Botânica - Botânica sempre viva/ XXXIII EERBOT</b> : Belo Horizonte.
4	Souza, A.F. & Macedo, G.E.L. 2013. Aprendendo botânica por meio de história em quadrinho. In: <b>CONNECTE II Colóquio Nacional de Educação, Currículo e Processo Tecnológicos. I Colóquio Internacional de Educação, Currículo e Processos Tecnológicos</b> : Salvador, UNEB.
5	Bittencourt, I.M. & Macedo, G.E.L. 2012. A Botânica no Ensino Médio: Análise de uma proposta didática baseada no enfoque CTS. Pp. 577-581. In: <b>X Jornadas Nacionales y V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología</b> : Argentina.
6	Bittencourt, I.M. & Macedo, G.E.L. 2012. Conhecimentos dos estudantes do Ensino Fundamental sobre as plantas. Pp 595-601 In: <b>X Jornadas Nacionales y V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología</b> : Villa Giardino, Argentina.
7	Brandão, G.S; Macedo, G.E.L. & Lopes, M. 2012. O conteúdo teórico de botânica nas séries iniciais do ensino fundamental I: uma análise dos livros didáticos de ciencias. Pp. 758-761. In: Resúmenes <b>X Jornadas Nacionales y V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología</b> : Villa Giardino, Argentina.
8	Bittencourt, I.M. & Macedo, G.E.L. 2012. Análise de uma proposta vincula ao movimento CTS para o estudo de Botânica no ensino médio. In: <b>Seminário Binacional Brasil - Argentina. I Seminário Binacional Brasil - Argentina</b> : Santa Fé, Argentina.
9	Santos, R.M. & Macedo, G.E.L. 2012. Á prática pedagógica do ensino de Botânica nas escolas do município de Jequié, Bahia, Brasil. Analisando alguns contextos. In: <b>X Jornadas nacionales y V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología</b> , Villa Giardino, Argentina.
10	Rodrigues, A.S.; Macedo, M.P.; Biggi, A.L. & Macedo, G.E.L. 2012. Concepções de discentes do ensino fundamental do município de Jequié - Bahia, sobre a interação inseto - planta. In: <b>V Biosemana da UESB</b> : Itapetinga.
11	Bittencourt, I.M; Macedo, G.E.L. & Lopes, M. 2011. Concepções de estudantes do ensino fundamental sobre as plantas. In: <b>Debates em educação científica</b> : Jequié, Bahia.
12	Bittencourt, I.M.; Macedo, G.E.L. & Lopes, M. 2011. As plantas na percepção de estudantes do ensino fundamental no município de Jequié, Bahia.. In: <b>VII ENPEC- Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências -VIII ENPEC/ Congresso Ibero-americano de investigación en enseñanza de las ciencias. - I CIEC</b> : Campinas.

Continua

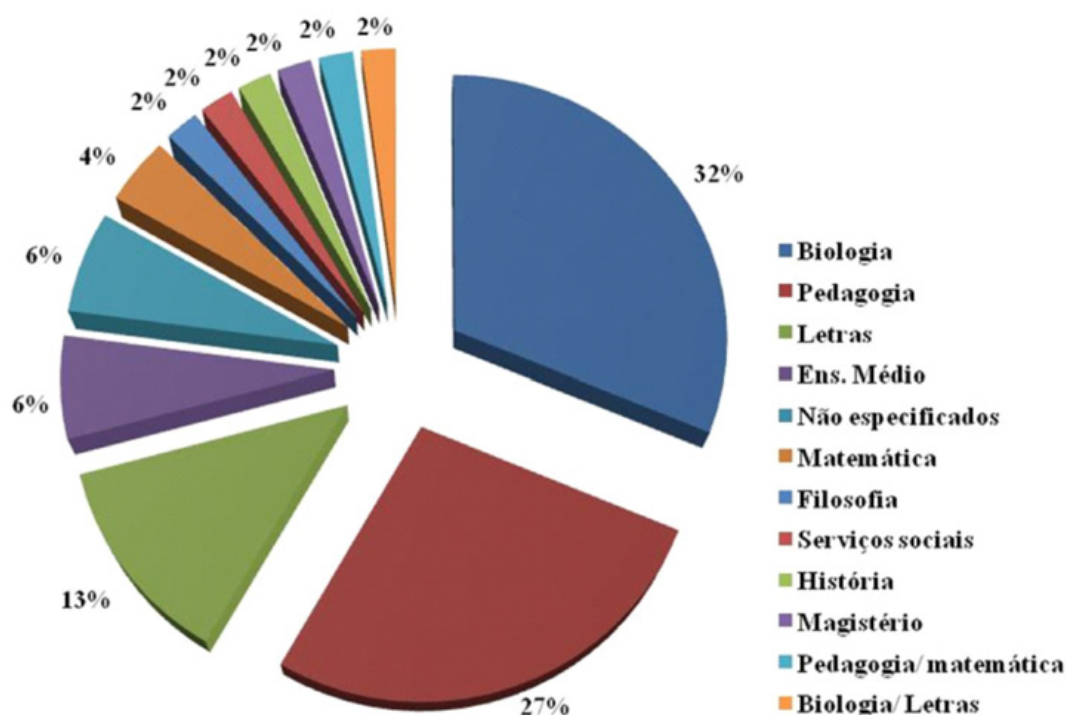
Tabela 1. Continuação.

13	Macedo, G.E.L. & Duarte, A.C.S. 2011. Usando o cotidiano para ensinar Botânica. In: <b>V Congresso internacional sobre formación de profesores</b> : Bogotá.
14	Macedo, G.E.L.; Bittencourt, I.M. & Souza, M.L. 2010. As plantas na percepção de alunos do ensino fundamental em escolas particulares e públicas no município de Jequié - BA (Brasil). In: <b>Anais X Congresso Latinoamericano de Botânica</b> : La Serena, Chile.
15	Bittencourt, I. M. & Macedo, G.E.L. & Lopes, M. 2009. Conhecimentos de alunos do Ensino Fundamental sobre as plantas. In: <b>Semana de Biologia UESB, Jequié, Bahia (Brasil)</b> . Anais: Semana de Biologia UESB 2009.
16	Macedo, G.E.L.; Brandão, G.S. & Bittencourt, I.M. 2009. Atividades práticas como estratégia para o estudo da Botânica no ensino médio. In: <b>60º Congresso Nacional de Botânica, 32ª Reunião Nordestina de Botânica, 29º ERBOT - Encontro Regional de Botânicos - MG, BA, ES</b> : Feira de Santana, BA.
<b>DISSERTAÇÕES CONCLUÍDAS</b>	
1	Souza, A.F. 2014. <b>O ensino de Botânica na educação básica: Uma proposta utilizando diversas estratégias</b> . Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Jequié, Bahia.
2	Bittencourt, I.M. 2013. <b>Análise de uma proposta vinculada ao movimento CTS para o estudo de botânica no ensino médio</b> . Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Jequié, Bahia.
<b>DISSERTAÇÕES EM ANDAMENTO</b>	
1	Santos, R.E 2014. <b>O ensino de botânica em um grupo colaborativo de professores da educação de jovens e adultos</b> . Dissertação de Mestrado (em andamento). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Jequié, Bahia.
<b>MONOGRAFIAS CONCLUÍDAS</b>	
1	Vaz, A.S. 2012. <b>Concepções dos alunos do 2º ano do ensino médio de escolas do município de Jequié acerca do processo de fotossíntese</b> . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Jequié, BA.
2	Santos, R.M. 2011. <b>Atividades práticas como estratégia para o ensino de Botânica: uma análise do projeto de extensão</b> . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Jequié, BA.
3	Rodrigues, A.S. 2011. <b>Concepção dos alunos do ensino fundamental sobre interação inseto planta</b> . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Jequié, BA.
4	Souza, V. 2010. <b>Uma visão sobre as plantas: como superar o antropocentrismo e, direção a uma perspectiva ecológica</b> . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié, BA.
5	Rocha, E.B. 2010. <b>Dificuldades encontradas pelos discentes do Ensino Médio de uma escola da rede pública de ensino do município de Jequié-BA em aprender Botânica</b> . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Jequié, BA.
6	Brandão, G.S. 2010. <b>O conteúdo teórico da Botânica nas séries iniciais do ensino fundamental: uma análise dos livros didáticos de ciências</b> . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Jequié, BA.
7	Dourado, A.C. 2009. <b>Percepções dos alunos do Ensino Básico sobre o que é caatinga</b> . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Jequié, BA.

Continua

**Tabela 1.** Continuação.

8	Bittencourt, I.M. 2008. <b>As plantas na percepção dos alunos do ensino básico em uma escola pública do município de Jequié - Ba.</b> Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia- UESB, Jequié, BA.
9	Sampaio, P.L.M.M. 2008. <b>As plantas ruderais no conhecimento da Botânica no ensino básico.</b> Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Jequié, BA.
10	Silva, A.C.G. 2008. <b>Sistemas de classificação vegetais utilizados nos livros didáticos do ensino médio.</b> Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Jequié, BA.
<b>MONOGRAFIAS EM ANDAMENTO</b>	
1	Souza, T. 2013. <b>Intervenção Pedagógica na formação de conceitos científicos sobre Fotossíntese.</b> Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Jequié, BA.



**Figura 1.** Formação acadêmica dos professores de Ciências e Biologia participantes do Projeto de extensão “Ensinando Aprender Botânica no Ensino Básico no Sudoeste baiano”.

Mediante o questionário, instrumento metodológico escolhido como forma de recolher os dados, foi possível verificar que o ensino de botânica apesar da sua importância, vem sofrendo interferências que dificultam sua abordagem, revelando dados preocupantes.

Muitos dos professores que participaram desta pesquisa não possuem uma ideia formada em relação à metodologia que fundamenta sua ação, sendo esta uma questão importante que fará desse professor o indivíduo que vai atuar de forma crítica na escolha dos métodos que devem ser usados, assim como, adequar os instrumentos que são disponibilizados para sua prática.

Um dos principais contextos se refere à escolha do livro didático, sua adequação ao público alvo assim como sua importância no processo de ensino. Foi verificado que em muitos casos, o livro continua sendo delineador da prática pedagógica, pois vem sendo usado de forma linear na ação docente.

Essa linearidade vem ocorrendo mesmo os professores sendo conscientes das limitações que esse instrumento possui ou até mesmo, das suas próprias limitações em relação aos conteúdos que são abordados nos livros, os quais foram adotados na sua prática pedagógica.

A atuação desses professores ao utilizar esse instrumento vem sendo fator limitante ao ponto que em certos momentos, atividades dinâmicas deixam de ter o efeito esperado no processo de aprendizagem, isto por causa do uso inadequado desse instrumento pedagógico e, do grande peso que o mesmo possui ao determinar os conteúdos e até mesmo o currículo.

Diversas pesquisas apontam que algumas limitações na abordagem de botânica deve-se a falta de material didático. Porém, é verificado que os professores apesar de relatarem alguns problemas em obter certos materiais, vêm se colocando como responsáveis pela adequação ou até mesmo formulação de aulas que não precisem de matérias específicos ou sofisticados de laboratórios.

Com o projeto foi possível verificar que muitos dos professores que relatam que não trabalham os assuntos de botânica ou aqueles que tinham problemas em abordar os temas de botânica atribuem, a complexidade dos assuntos, como fator que limita a sua ação por causa dos termos científicos e dificuldade em encontrar atividades que facilitem a sua aplicação. Resultando assim, em aulas apáticas em que os alunos têm dificuldade no aproveitamento de tais conteúdos, uma vez que os mesmos são complexos e melhor ministrados sem qualquer contextualização com a realidade desses indivíduos.

Verifica-se também que mesmo que muitos professores não possuam uma visão metodológica da sua ação, de forma inconsciente ou não, vem dando espaço para um ensino onde o estudante tem papel importante no processo de aprendizagem.

Os resultados das ações realizadas entre 2008 e 2013 demonstraram que 57% dos professores participantes afirmam que os alunos possuem uma grande dificuldade nos assuntos de botânica, 23,07% possuem uma visão crítica em relação a sua metodologia e 76,92%, na maioria das vezes a metodologia se reduz a métodos que delimitam o seu trabalho pedagógico. Desta forma, não ficam definidas quais linhas de pensamento são usadas por eles na sua prática pedagógica. Os dados informam que 46,1% dos professores não estão cumprindo o programa de botânica, alegando diferentes fatores que vem desde a formulação do cronograma com as escolhas dos temas abordados, sua disposição nas unidades, assim como as preferências didáticas e dificuldade pedagógica de aprendizagem por causa da não adequação dos instrumentos disponíveis para esse fim.

Como relatado por Oliveira *et al.* (2013) verifica se que: i) a Botânica não é área preferencial de ensino dos professores; ii) o livro didático é um dos materiais didáticos mais utilizados no ensino de Botânica; iii) aulas práticas são raras no ensino de conteúdos botânicos; iv) livros didáticos, transparências e vídeos são as principais ferramentas estratégicas no ensino de Botânica por causa da acessibilidade, afinidade e facilidade de uso; v) quando há ocorrência de aulas práticas, são realizadas em sala de aula e não em espaço externo à escola; vi) para os professores, as aulas práticas e o uso de vídeo são estratégias que poderiam estimular o interesse dos alunos pelos assuntos da Botânica; vii) assuntos de Botânica não são claramente percebidos (e, portanto, não são trabalhados em aula) pelos professores com correlações aos contextos e cotidianos dos alunos; viii) não há hábito de preparação de material didático-pedagógico anteriormente às aulas de Botânica; ix) aspectos limitantes para o ensino e a aprendizagem de Botânica, de acordo com os professores: falta de tempo, falta de afinidade com a matéria, falta de recursos, escassez de carga horária para a disciplina de Biologia, os alunos não gostam dos conteúdos de Botânica, pouca motivação envolvida.

Conclui-se que o ensino de botânica nas escolas necessita de uma revisão dos conteúdos trabalhados, necessita que os assuntos sejam reorganizados e que sejam apresentados métodos didáticos alternativos, com o intuito de permitir que os professores se sintam mais confortáveis e seguros em abordar esse tema, impedindo com isso que o programa proposto em relação ao ensino de botânica seja deixado de lado, como vem acontecendo na maioria das ações pedagógicas, dos professores atuantes nas escolas da região de Jequié municípios circunvizinhos.

## Referências

- Alves, N., & Garcia, R. L. (Orgs.). 2000. **O sentido da escola**. 2. Ed. Rio de Janeiro, DP&A.
- Amaral, R.A.; Teixeira, P. M. M & Senra, L.C. 2006. **Problemas e limitações enfrentadas pelo corpo docente do ensino médio, da área de biologia, com relação ao ensino de botânica em Jequié-Ba**. Disponível em: [←http://www.adaltech.com.br/evento/museugoeldi/resumoshtm/resumos/R0009-1.htm](http://www.adaltech.com.br/evento/museugoeldi/resumoshtm/resumos/R0009-1.htm)→ Acesso em: 30/06/2013.
- BRASIL, MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO, SECRETÁRIA DE EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLOGIA. 1999. **Parâmetros Curriculares: Ensino Médio**. Brasília, Ministério da Educação.
- Carvalho, D.A. de. 2001. **Sistemática vegetal**. Lavras: UFLA/FAEPE.
- Costa, F.A.P. 2005. Ciência no pátio da escola. **Jornal da Ciência e-mail**. São Paulo. 22 de março. Folha notícia.
- Ferri, M.G. 1979 – 1980. História da Botânica no Brasil. In: Ferri, M.G & Motoyama, S. (coord.) **História das Ciências no Brasil**. São Paulo, EPU.
- Freinet, C. 1985. **Pedagogia do bom senso**. São Paulo, EPU.
- Kinoshita, L.S. *et al.* 2005. **A botânica no ensino básico**. São Paulo: Rima.
- Krasilchik, M., & Trivelato, S.L.F. 1995. **Biologia para o cidadão do século XXI: 1º parte**. São Paulo: USP / CAPES / PADCT
- Martins, J. de O. & Santana, M.C. de. 2006. **Deficiência no processo de ensino-aprendizagem de botânica em duas escolas do ensino médio da cidade de Itabaiana - Sergipe**. Disponível em: [←http://www.adaltech.com.br/evento/museugoeldi/resumoshtm/resumos/R0009-1.htm](http://www.adaltech.com.br/evento/museugoeldi/resumoshtm/resumos/R0009-1.htm)→ Acesso em: 30/06/2006.
- Martins, J.O. 2003. **Deficiência no processo de ensino-aprendizagem de Botânica no ensino médio em duas escolas na cidade de Itabaiana, SE**. (Monografia) - Universidade Federal de Sergipe.
- Masetto, M.T. 2003. **Competência pedagógica do professor universitário**. São Paulo, Summus.
- Nogueira, E. 2000. **Uma história brasileira de Botânica**. Brasília, Paralelo 15. São Paulo, Marco Zero.
- Oliveira, S.A. & Macedo, G.E.L. 2007. A formação do professor de Biologia e o conteúdo de Botânica ensinado nas escolas do município de Jequié, Bahia, Brasil. In: 58º Congresso Nacional de Botânica, São Paulo. A Botânica no Brasil: Pesquisa, ensino e Políticas Públicas Ambientais.
- Oliveira, S.A.; Macedo, G.E.L. & Razera, J. 2013. Um perfil do ensino de Botânica em uma escola de Jequié, Bahia. In: Anais **V EREBIO - Encontro Regional de Ensino de Biologia**, Natal.
- Sant`Anna, F. M. 1979. **Micro ensino e habilidades técnicas do professor**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil.
- Tashimiro, J.Y.; Kinoshita, L.; Torres, R.B.; Amorim A.C.R. de; Silveira V.C. & Marcan, M. 2005. **As plantas e os múltiplos olhares: A Botânica no ensino médio**. São Paulo: Rima.
- Zóboli, G.B. 1997. **Práticas de ensino**. 8ª ed. São Paulo, Ática Editora.

# A FALTA QUE OS MÚSCULOS FAZEM...

**Miguel José Minhoto**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus São Paulo, São Paulo, Brasil.

[minhoto@osite.com.br](mailto:minhoto@osite.com.br)

**A** Botânica é, sem dúvida, a parte das Ciências Biológicas mais fascinante e que ainda há muito para se descobrir. Entretanto, essa mesma Botânica também é considerada a parte mais difícil de ensinar e aprender. A grande maioria dos professores que ensinam Botânica nos cursos fundamental e médio, e isso por experiência de vida, não fazem com a mesma paixão como ensinam outras áreas da Biologia, tais como Genética e Zoologia. Esqueceram, ou simplesmente não sabem, que tudo começou com as plantas, isso só para falar de Ciências.

A célula que Robert Hooke batizou nada mais é que casca de árvore, a popular cortiça, a Taxonomia foi criada por um Botânico; o núcleo celular foi descoberto por Franz Bauer, que era Botânico e, mais tarde, detalhadamente descrito por outro Botânico, Robert Brown. O ex-advogado alemão Matthias Jakob Schleiden não só enalteceu a descoberta de Brown como acrescentou diversas descobertas do ciclo celular e afirmou, categoricamente, que todas as plantas eram formadas por células.

E a queridinha da maioria dos professores, a Genética, ela mesmo, eles sequer se lembram que Mendel trabalhava com ervilhas.... é, ervilhas, mais uma planta para mudar os rumos da História da Biologia. Como ninguém deu muita importância na época para o Mendel, mais tarde Hugo de Vries, Botânico Holandês, Carl Correns, Botânico Alemão e Erich von Tschermak-Seysenegg, Botânico Austríaco, redescobriram as leis de Mendel.

E o vírus? O primeiro vírus e que recebeu esse nome, foi o vírus do mosaico do tabaco. Foram os Botânicos que chamaram uma partícula infecciosa de vírus.

Se for falar de todas as descobertas que começaram com a Botânica e com os Botânicos, certamente esqueceria muitos e a relação estaria incompleta. Nos dias de hoje, as técnicas de produção de GMOs, de genômica, de células-tronco (stem-cell) começaram com modelos em plantas.

Então por que nossos jovens não aprendem quase nada sobre plantas?

Para tentar explicar, vou voltar a 1980. Estava iniciando, como muitos colegas, a lecionar e, como muitos, substituindo um docente na rede pública estadual. Comecei no segundo semestre, mais precisamente em outubro, apenas algumas manhãs para encerrar esse ano letivo. O livro adotado era da coleção do César e Sesar, e o volume 2 era totalmente dedicado aos seres vivos. Para minha surpresa, os alunos tinham estudado apenas os vertebrados. E nem todos, só os bonitos...

Em 1981, novamente no segundo semestre, agora desde agosto, substituí a mesma professora. Ela estava em vias de aposentar e estava gastando todas as licenças-prêmio que tinha direito. Por curiosidade, perguntei porque os alunos não estudavam Botânica. A resposta veio muito rápido: "é chato e eu não gosto".

A partir desse momento, passei a observar os demais colegas e, quem lecionava no segundo ano do ensino médio naquela época, fugia sempre da Botânica.

Eu jamais fui um aluno brilhante, principalmente em classificar plantas. Os meus amigos de graduação, após aprenderem taxonomia, tinham uma facilidade de identificar espécies que eu não tinha, aliás, não tenho. Mas sempre fui muito esforçado e muito estudei para poder passar e com a nota muito próxima da mínima.

Quando fui apresentado a Fisiologia Vegetal e suas relações com o ambiente, aos metabolismos primários e secundários, a Etnobotânica e as todas possibilidades que os vegetais permitiam, percebi o quanto era bonito e intrigante.

Meu segundo passo, como professor, foi partir para rede privada de ensino. Tive uma passagem rápida por um colégio e cursinho, onde a minha principal função era fazer o laboratório funcionar, montar práticas para as três séries e, claro, revisar todo o material botânico.

Do colégio e cursinho parti para um grande colégio de São Paulo, o Colégio Rio Branco. Fui contratado para dar aulas de Botânica para as segundas séries do curso de Biológicas. Naquela época, o colegial era dividido em três áreas: Biológicas, Exatas e Humanas.

Aquilo que havia percebido na rede pública também existia nas grandes escolas e cursinhos de São Paulo. A maioria dos professores não gostavam e não queriam ensinar Botânica aos seus alunos.

No Colégio Rio Branco eu tive a oportunidade de crescer muito profissionalmente, pois naquela época, o curso era muito puxado e os alunos muito exigentes. Por isso a minha exigência na preparação das aulas também aumentou. As facilidades para produzir trabalhos com os alunos e passeios em matas próximas da cidade, permitiram tornar as aulas de Botânica muito mais interessantes, produtivas. O principal evento para os alunos, e eram, na maioria, excelentes alunos, era a confecção e posterior exposição de herbários durante todo o segundo ano do colégio. Muitos deles me agradecem até hoje pela disciplina que eles eram obrigados a ter para que o herbário ficasse bem feito.

Em meados dos anos 90, com a inserção de novas tecnologias, e por não ter mais as três áreas separadas, unificando o ensino médio, tentei por 3 anos a elaboração com os alunos de herbários eletrônicos. A primeira tentativa foi positiva, a segunda nem tanto e na terceira, surgiram os primeiros “copia e cola”, o que me fez repensar os meus planos.

Isso me levou a investir em uma pós-graduação, para lecionar na graduação de Ciências Biológicas. E lá fui eu ser novamente estagiário no Instituto de Botânica, na Seção de Fisiologia e Bioquímica de Plantas. Sob a orientação do Dr. Marcos Buckeridge, ingressei no mestrado da Universidade de Campinas.

Essa troca de experiências com os pesquisadores do Instituto de Botânica, ligando a educação dos ensinamentos fundamental e médio com as pesquisas desenvolvidas no Instituto, me estimulou a escrever uma crônica e que ficou muito tempo no ar dentro do sítio da Sociedade Botânica de São Paulo: “Ausência de músculos ou porque os professores de Biologia odeiam Botânica”.

Nesse texto, eu contava um pouco da minha experiência dentro das salas de aulas.

Terminado o mestrado, estava na hora de cumprir o objetivo: migrar para lecionar no curso superior. O estágio de docência na UNICAMP ajudou muito a enfrentar esse novo desafio, buscando alternativas para ensinar Botânica.

A partir do meu segundo ano no curso superior, e observando o quanto os alunos desconheciam qualquer assunto sobre plantas, resolvi fazer um pequeno teste entre os alunos que teriam Botânica pela primeira vez. Como as turmas variavam muito o número de alunos, resolvi que apenas 25 voluntários responderiam os questionários.

A seguir, as perguntas do questionário para os alunos responderem:

*1. Você é a favor ou contra pegar um ser vivo ainda vivo, cortá-lo em diversos pedaços e depois colocá-los em uma panela para cozinhar?*

*a) a favor*

*b) contra*

2. E se o ser vivo da questão anterior fosse uma cenoura, uma batata ou vagens de feijão?

a) a favor

b) contra

3. Alguma vez você havia pensado ou lembrado que plantas são seres vivos?

a) sim

b) não

4. Você teve aulas sobre Botânica no ensino médio e/ou fundamental?

a) nunca tive

b) poucas

c) tive, mas nunca aprendi

d) tive um bom curso

As perguntas eram projetadas uma de cada vez e, após um intervalo de tempo para os alunos responderem, nova pergunta era projetada.

Esse questionário diagnóstico funcionou bem durante 4 semestres, depois os novos alunos já sabiam que, em um dado momento, responderiam algo parecido, o que me obrigou a abandonar por um tempo esse tipo de pesquisa.

As primeiras vezes que apliquei esse questionário, a pergunta 1, sobre esquartejar e cozinhar um ser ainda vivo, 100% das respostas eram contrárias, além dos comentários sobre o absurdo que era aquilo, se alguém no mundo fazia isso e como eu poderia perguntar algo cruel.

Ao apresentar a pergunta 2, a surpresa na cara dos alunos era evidente. Nenhum deles havia pensado que, aquele ser vivo podia ser um vegetal. Agora eu tinha 100% a favor!

A pergunta 3 é a mais embaraçosa, pois por mais vergonhoso que seja, a grande maioria das pessoas, inclusive professores de Biologia, muitas vezes esquecem que as plantas são seres vivos. Entre 95 a 100% das respostas dos alunos “confessavam” que não lembravam que as plantas são seres vivos.

A quarta pergunta foi a menos constrangedora, já que as alternativas **a**, **b** e **c** eram as escolhidas e bem equilibradamente.

Deixei de aplicar esse questionário a partir do segundo semestre de 2007; em 2009 deixei a universidade que trabalhava e acabei voltando para o ensino médio.

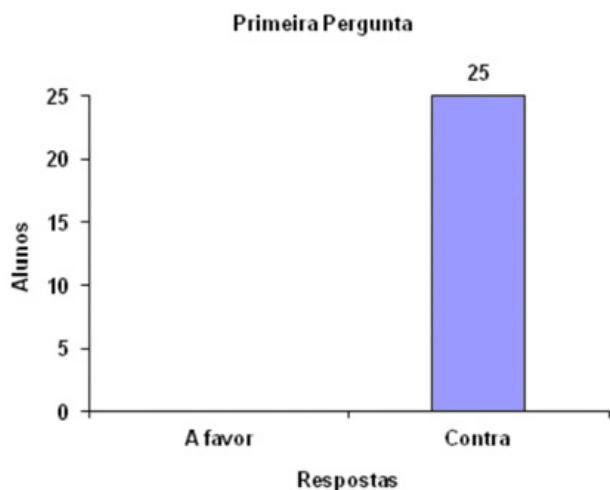
Fui trabalhar em Bauru e, para minha surpresa, não só faltava o ensino básico de Botânica como também encontrei algumas definições preocupantes sobre estruturas, organelas e órgãos vegetais.

De volta a São Paulo, de volta a graduação. Peguei um turma em final de curso, oitavo semestre. Na minha primeira aula, coloquei a primeira pergunta para eles. Alguns alunos foram inicialmente contra; outros argumentaram que esse ser vivo poderia ser um vegetal, o que acabou havendo uma mudança de postura do restante da turma.

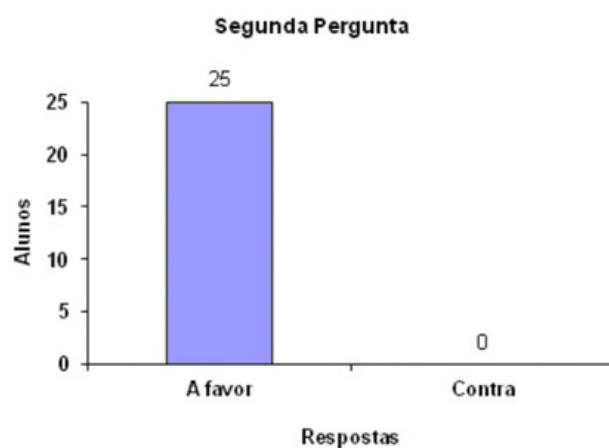
Devemos sempre lembrar aos alunos que as plantas são sim seres vivos e quando comemos um fruto maduro ou uma folha, estamos comendo suas células vivas, matando-as e incorporando em nossa biomassa parte da biomassa presente nesses órgãos.

Devemos lembrar as pessoas que uma mata, uma floresta não é um vazio, ela é composta por diversas espécies de vegetais e se eles não pulam ou correm o tempo todo, não são seres mortos, mas sim vivos, muito bem vivos e que deles dependem muito a nossa saúde e qualidade de vida.

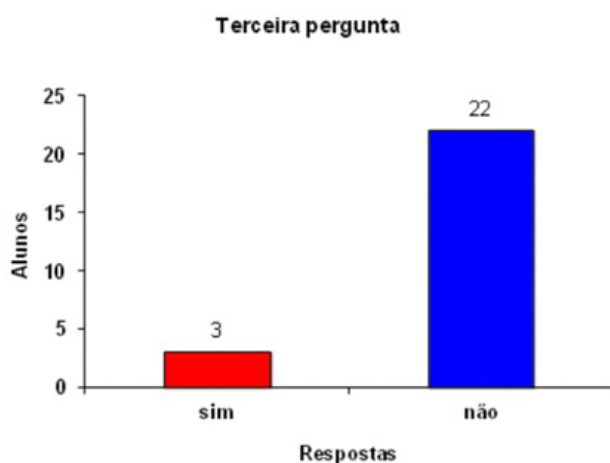




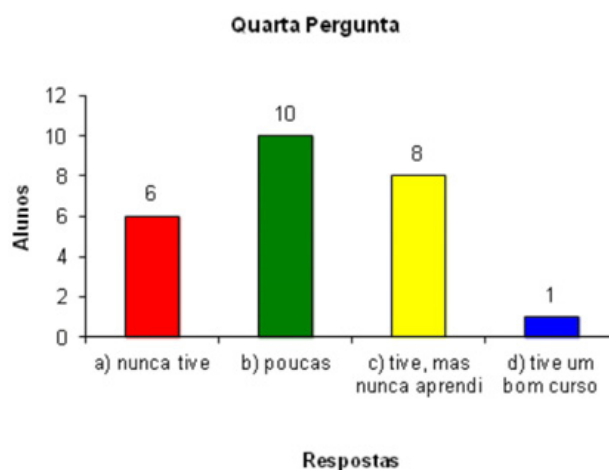
**Figura. 1.** Você é a favor ou contra pegar um ser vivo ainda vivo, cortá-lo em diversos pedaços e depois colocá-los em uma panela para cozinhar?



**Figura. 2.** E se o ser vivo da questão anterior fosse uma cenoura, uma batata ou vagens de feijão?



**Figura. 3.** Alguma vez você havia pensado ou lembrado que plantas são seres vivos?



**Figura. 4.** Você teve aulas sobre Botânica no ensino médio e/ou fundamental?

Devemos também lembrar aos VEGANS que, ao cozinhar arroz integral, milhares de embriões de arroz estão sendo cozidos vivos... mas como são plantas, os VEGANS não se importam...

A Botânica não é chata! Nós a tornamos chata! E por isso acabamos a desestimular os alunos. Qualquer atividade de manipulação com plantas é fundamental com crianças do fundamental 1. Experimentos e observação de células vegetais, tanto no fundamental 2 como no ensino médio são de vital importância. Ano passado, um aluno de ensino médio, após as aulas sobre nutrição mineral, me falou que ao observar as folhagens da casa dele e do entorno da onde morava, começara a entender as cores e os queimados que as folhas apresentavam por falta de nutriente. E que no jardim da casa dele já estava providenciando a adubação.

Nos cursos de graduação das escolas privadas e até algumas públicas, confecção de herbários não é mais exigida para os alunos. A resposta da coordenadora do curso foi "como o curso era de



licenciatura, não havia necessidade”. Acredito que por ser de licenciatura há mais necessidade de ter herbários. E com as TIC e os recursos existentes, montar herbários digitais ou virtuais está cada dia mais fácil!

Eu sou da época do podão para retirar um ramo para o herbário. Hoje, o aluno pode fotografar e ver na hora se a foto está boa e já separá-la para um herbário digital.

E ainda há o apelo do efeito benéfico das plantas. Ou mortais. Uma outra forma de atrair o prazer de estudar as plantas. Incorporar a literatura sobre plantas, tais como os livros do Dr. Gil Felipe. Como nas aulas de literatura, ler o livro, fazer fichamento, apresentar resenha e, claro, prova sobre o livro! É dá trabalho, mas é uma maneira de obter resultados produtivos para ensinar a Botânica!

# MUERTE CELULAR PROGRAMADA EN EL DESARROLLO REPRODUCTIVO DE LAS PLANTAS

**María Paula López-Fernández<sup>1</sup> & Sara Maldonado<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Laboratorio de Biología  
del Desarrollo de las Plantas, IBBEA, CONICET-UBA, Argentina.

[mapaula.lf@gmail.com](mailto:mapaula.lf@gmail.com) e [saram@bg.fcen.uba.ar](mailto:saram@bg.fcen.uba.ar)

## Introducción


La muerte celular programada (MCP) es un proceso organizado, controlado genéticamente por el propio organismo, que resulta en la muerte de células individuales, de tejidos, o de órganos enteros. Se produce en un momento y un lugar adecuados coordinando la “destrucción” de ciertas células como uno de los muchos mecanismos que son necesarios para la elaboración del progreso normal del ciclo de vida de la planta. Es importante en las plantas, como en otros organismos multicelulares, no sólo para el correcto desarrollo del organismo sino también como un mecanismo de inmunidad contra el ataque de patógenos o para destruir y eliminar células que representan una amenaza en el organismo (Kuriyama, 2002; Greenberg *et al.*, 1994; Hofius, 2009).

Durante el desarrollo, la MCP representa una etapa terminal en la diferenciación de las células.

La división del cigoto en dos células, apical y basal, es importante en la morfogénesis vegetal, ya que desde el inicio de la vida de una planta establece la polaridad en el patrón de desarrollo. El destino de estas dos células está estrechamente coordinado y conduce a la formación de un embrión (a partir de la célula apical) y un suspensor (desde la célula basal). El suspensor funciona como conducto de nutrientes para el embrión en desarrollo durante un corto tiempo y se elimina posteriormente mediante la muerte celular genéticamente controlada (Bozhkov *et al.*, 2005a). La embriogénesis en plantas, como en animales, depende de un balance estrictamente coordinado entre la división y la muerte celular por una parte, y la supervivencia, por otra. En otros casos las células deben morir como parte de un programa de desarrollo para formar órganos con funciones o formas específicas como por ejemplo órganos florales (sépalos, pétalos, estambres o carpelos) o para formar hojas con perforaciones típicas (Ej. la especie *Monstera deliciosa* Liebm. comúnmente conocida como “sandalia”), o para formar el aerénquima en plantas acuáticas, etc., o simplemente las células mueren porque cumplieron su función y/o ya no son necesarias es el caso de los estambres, pétalos o sépalos en algunas flores después de la polinización o la senescencia foliar (Wu y Cheung, 2000; Gunawardena *et al.*, 2001; 2008; Xu & Hanson, 2000).

Van Doorn (2011) clasifica la muerte celular en tejidos vegetales según sus características bioquímicas y morfológicas, reconociendo dos grandes grupos de muerte celular: i) el tipo vacuolar, y ii) la necrosis.

En los últimos años, un número de estudios han descrito la importancia de las vacuolas en la muerte de las células de la planta. Las vacuolas han surgido como fuentes cruciales para factores



que median la lisis celular, como depósitos para una variedad de metabolitos, y como estructuras claves en la defensa y en el reciclaje de los componentes celulares. Similar al uso de los lisosomas en animales, las plantas pueden utilizar las vacuolas para reciclar parte de su contenido celular. Durante la muerte celular tipo vacuolar generalmente el volumen de la vacuola aumenta en detrimento del volumen ocupado por el citoplasma. Las vacuolas líticas engolfan el citoplasma con la consiguiente degradación de su carga, representando un importante mecanismo de desmantelamiento celular. Este proceso se asemeja a la micro- o macro-autofagia. El último paso en la ejecución de la muerte celular vacuolar es la ruptura del tonoplasto, y una liberación masiva de hidrolasas vacuolares que destruyen rápidamente el protoplasto o en algunos casos toda la célula, incluyendo la pared celular. Las enzimas de procesamiento vacuolar (VPEs), también denominadas *legumains*, son cisteína-proteasas vacuolares que producen la ruptura de los péptidos en las uniones peptídicas que siguen a residuos de asparagina o de ácido aspártico; los residuos finalmente entran en la ruta secretora y son transportados a la vacuola o la pared de la célula, donde se activan (Martínez *et al.*, 2007). La presencia de VPEs ha sido relacionada tanto con la MCP en el desarrollo de diferentes tejidos como con la respuesta a patógenos (Hatsugai *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2010; Radchuk *et al.*, 2011).

Otros eventos morfológicos durante la muerte celular vacuolar incluyen el desmontaje de la membrana nuclear y, en algunos ejemplos, el agrupamiento en haces de los microfilamentos de actina y la segmentación nuclear. Las mitocondrias y otros orgánulos, así como la membrana plasmática, se mantienen morfológicamente intactas hasta la ruptura del tonoplasto (Van Doorn *et al.*, 2011 y las referencias allí incluidas).

Existen características citológicas que distinguen la necrosis de la muerte celular vacuolar. En este tipo de muerte celular no se observa el crecimiento de vacuolas líticas y se producen cambios en las mitocondrias acompañados por una ruptura prematura de la membrana plasmática conduciendo a la contracción del protoplasto. Como no hay vacuolas líticas que limpien el citoplasma durante la necrosis, los cuerpos de las células necróticas permanecen en gran medida sin procesar. La necrosis es típicamente una respuesta de muerte celular aguda que se desarrolla rápidamente y lleva desde varios minutos (en respuesta a tratamientos tóxicos) a un máximo de un día, como se observa en la respuesta hipersensible (HR). Una de las características morfológicas para diagnosticar necrosis es la contracción de protoplastos (la cual es fácilmente detectable) acompañada por una evaluación de la disfunción mitocondrial (la disminución de los niveles de consumo de oxígeno y la producción de ATP) y la acumulación de ROS (Jones, 2000; Scott & Logan, 2008; Van Doorn *et al.*, 2011 y las referencias allí incluidas).

Un diferente tipo de muerte se establece en el endosperma de cereales. Van Doorn (2011) deja afuera de esta clasificación al endosperma de cereales donde las células del endosperma amiláceo acumulan reservas de almacenamiento y mueren durante la maduración de la semilla, pero sus "cadáveres" permanecen sin procesamiento hasta la germinación. Tras la germinación, las células de la capa de aleurona (que por el contrario, persisten vivas) segregan enzimas hidrolíticas que degradan y movilizan las reservas acumuladas en el endosperma amiláceo. En este caso existe un lapso de tiempo entre la muerte celular y el procesamiento de estas células que, en las semillas ortodoxas puede ser muy largo, dependiendo del tiempo que transcurra entre la maduración de la semilla y el inicio de la germinación.

## Proteasas

El reino animal y vegetal comparten una serie de características morfológicas y bioquímicas respecto de la MCP que incluyen la condensación y la contracción del núcleo y el citoplasma, el patrón de "ladder" de ADN y la liberación del citocromo c de las mitocondrias (Danon *et al.*, 2000; Balk

& Leaver, 2001; Lam et al, 2001; Hoeberichts & Woltering, 2002). Las caspasas son un grupo de proteínas pertenecientes a la familia de cisteína-aspartato-proteasas las cuales intervienen y controlan la respuesta apoptótica en células animales. Las caspasas desempeñan funciones claves durante la iniciación y ejecución de la MCP ya que, una vez activadas, actúan como cisteína-proteasas, utilizando una cadena lateral de cisteínas para catalizar la escisión del enlace péptido en los residuos de aspartato de sus sustratos. Como el corte se produce a nivel de un residuo de aspartato de allí deriva su nombre (cisteinil-aspartato proteasas). Durante mucho tiempo se ha debatido si las plantas tienen proteasas funcionalmente similares a las caspasas iniciadoras y efectoras que actúan durante la apoptosis en animales. A pesar de que diversas proteasas vegetales pareciera que tienen este papel, aun se sabe muy poco acerca de sus objetivos proteolíticos *in vivo*. Hasta la fecha, en plantas no se han encontrado homólogos estructurales de las caspasas que están presentes en animales, con especificidad de escisión y similitud de función, (Bonneau *et al.*, 2008). Las plantas codifican sólo homólogos distantes de las caspasas, las metacaspasas, que pueden estar implicadas en la MCP, pero no poseen actividad proteolítica caspasa-específica (Bozhkov *et al.*, 2005b; Watanabe & Lam, 2005)

Dos tipos de metacaspasas se pueden distinguir: las Tipo I tienen pro-dominios con motivos repetitivos ricos en prolina, y las metacaspasas tipo II, que carecen de pro-dominios pero presentan una inserción de alrededor de 200 aminoácidos en el extremo C- terminal. En protozoos y hongos sólo se encuentran metacaspasas tipo I, mientras que en los genomas de las plantas se codifican ambos tipos. El rol que cumplen no está del todo determinado y existe una creciente evidencia de su participación en el control de la MCP en diversos sistemas. En *Arabidopsis* se demostró la participación de las metacaspasas tipo I AtMC1 y AtMC2, regulando en forma positiva y negativa, respectivamente, la MCP (Coll *et al.*, 2010). En el suspensor de embriones somáticos de *Picea abies* la metacaspasa tipo II, mclIPa, es necesaria para la diferenciación y la muerte celular (Suárez *et al.*, 2004). También las metacaspasas de tipo 2 tiene papel regulador de la MCP inducida por estrés bióticos y abióticos (Watanabe & Lam, 2011). En un principio las primeras observaciones utilizando extractos celulares sugirieron que las metacaspasas detectadas en plantas, levaduras, y hongos podrían corresponder a las actividades proteolíticas tipo caspasa (Madeo *et al.*, 2002; Suárez et al, 2004). Sin embargo, varios estudios bioquímicos utilizando metacaspasas recombinantes o extractos de proteínas con mutantes de pérdida o ganancia de función han demostrado claramente que las metacaspasas son altamente específicas para Arg o Lys en la posición P1 (Vercammen *et al.*, 2004; 2006; Bozhkov *et al.*, 2005b; Watanabe *et al.*, 2005; He *et al.*, 2008; Helmersson *et al.*, 2008).

Por otra parte, mediante la utilización de sustratos sintéticos fluorogénicos de caspasas se han detectado en las plantas actividades tipo-caspasa lo que indica que las enzimas, estructuralmente distintas a las clásicas caspasas, pueden operar como proteasas tipo-caspasa en las plantas (del Pozo & Lam, 1998; Bonneau *et al.*, 2008). De hecho, se ha demostrado que la enzima de procesamiento vacuolar (VPE), una cisteína proteasa, estructuralmente diferente de las clásicas caspasas, se requiere para la MCP inducida por TMV (Hatsugai *et al.*, 2004) así como para la MCP durante el desarrollo de los tegumentos de semillas (Nakaune *et al.*, 2005) y muestra una actividad de tipo caspasa-1 (YVADase) (Hatsugai *et al.*, 2004; Rojo *et al.*, 2004). Las serina-proteasas también han sido asociadas a varios modelos de MCP. Coffeen y Wolpert (2004) lograron caracterizar dos proteasas tipo subtilisina serina-proteasas asociadas a la respuesta de MCP: SAS-1 y SAS-2 que, a pesar de presentar una actividad similar a caspasas, requieren un residuo de aspartato en la posición P1 del sustrato y contienen en el sitio activo un residuo de Ser, por lo que definieron a estas proteínas como saspasas (serina-proteasas aspartato proteasas específicas).

Chichkova *et al.* (2010) han identificado y caracterizado una nueva proteasa tipo-subtilisina de tabaco y arroz llamada phytaspasa la cual posee especificidad caspasa distinta de la de otras proteasas tipo-caspasa conocidas. Por ejemplo, VEID (sustrato de caspasa-6) es un motivo preferido para la escisión por parte de la phytaspasa que lo diferencia de las saspasas, las cuales no se unen al

sustrato VEID en absoluto (Coffeen & Wolpert, 2004). Otra particularidad notable de la phytaspasa es su localización específica ya que en respuesta a una variedad de estímulos que inducen la muerte, phytaspasa se relocaliza desde el apoplasto hacia el interior de la célula. Por lo tanto, en contraste con otras proteasas que poseen actividad tipo caspasa conocidas, que operan ya sea o en el apoplasto (saspasas) (Coffeen & Wolpert, 2004) o en la vacuola (VPE) (Hatsugai et al, 2004), la phytaspasa puede funcionar tanto en apoplasto como en los compartimentos intracelulares.

## Nucleasas

En el nivel molecular existe una gran conexión entre la MCP y la participación de nucleasas, estas enzimas operan durante el desmantelamiento del núcleo generando la condensación de la cromatina, la fragmentación internucleosomal del DNA, y la desorganización de la membrana nuclear. Las nucleasas de las plantas comparten homología significativa con nucleasas de diferentes organismos y se encuentran estrechamente asociadas con diferentes procesos de MCP de plantas. Algunos procesos donde se observó su actividad incluye la respuesta hipersensible (Mittler & Lam, 1997), la muerte de células de la capa de aleurona del grano de cebada y trigo, del escutelo y en capa de aleurona en granos de trigo germinados (Fath *et al.*, 1999; Domínguez *et al.*, 2004; 2012), el desarrollo del endosperma de maíz (Young & Gallie, 1999), y durante la xilogénesis (Thelen & Northcote, 1989) entre otros. Se conocen dos clases importantes de endonucleasas las dependientes de  $Zn^{2+}$  y las dependientes de  $Ca^{2+}$ . Las endonucleasas dependientes de  $Zn^{2+}$  exhiben una actividad máxima en un rango de pH ácido desde 5.0 a 6.5 consistente con su ubicación en compartimientos ácidos como la vacuola y el espacio extracelular. Como sustrato prefieren ARN y ADN simple cadena (ssADN) a ADN doble cadena (dsADN) aunque bajo condiciones adecuadas cualquier endonucleasa dependiente de  $Zn^{2+}$  puede generar un nick y linealizar dsADN superenrollado. Las endonucleasas dependientes de  $Zn^{2+}$  se sospecha que operan luego del colapso de la membrana o del tonoplasto contrario a lo que sucede con endonucleasas dependientes de  $Ca^{2+}$  las cuales se especula actúan en el núcleo. La mayoría de endonucleasas dependientes de  $Ca^{2+}$  tienen pH óptimo en la región neutra y preferencias de sustrato de ssDNA muy por encima de ARN (Sugiyama, 2000).

## Endo-reduplicación

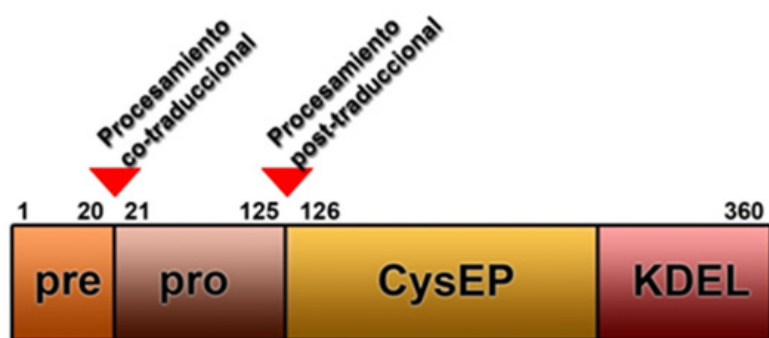
En las plantas, la endo-reduplicación es el modo más común de endopoliploidización nuclear y se estima que ocurre en más del 90% de las angiospermas (D'Amato, 1984). La endo-reduplicación se produce cuando una célula se somete a una ronda de duplicación del ADN sin división celular, lo que resulta en una duplicación de la cantidad de ADN, es decir los cromosomas se replican, pero los núcleos y las células no se dividen. Este proceso es común en plantas y en animales, especialmente en los tejidos con alta actividad metabólica. Generalmente las células que han sido sometidas a ciclos de endo-reduplicación son más grandes que el resto de las células y poseen un mayor número de orgánulos como plástidos y mitocondrias. La endo-reduplicación se ha descrito en el endosperma de granos de maíz (Kowles *et al.*, 1990) y en las células del suspensor de *Phaseolus* entre otros (Nagl, 1974). Durante el desarrollo del endosperma de maíz, las células cambian de un ciclo mitótico a un ciclo de endo-reduplicación, impulsando la síntesis masiva de proteínas de almacenamiento y de almidón (Lur & Setter, 1993). La extensión de la endo-reduplicación se correlaciona con el rendimiento de grano de maíz (Cavallini *et al.*, 1995). Debido a que la endo-reduplicación se produce con frecuencia en los tejidos de almacenamiento de semillas, se ha sugerido que este proceso podría proporcionar un mecanismo para el almacenamiento de nucleótidos o de nitrógeno para el embrión. Sin embargo, existe poca evidencia experimental que demuestre el reciclado de los nucleótidos, ya

que esto representa una forma de almacenamiento de nitrógeno a expensas de un alto costo de energía. En consecuencia, la idea más que probable es que la endo-reduplicación se produce con el fin de proporcionar niveles más elevados de la expresión génica, para aquellos procesos que deben cumplirse con limitaciones de tiempo y espacio (Larkins *et al.*, 2001).

Comprender los procesos fundamentales que rigen el desarrollo, la evolución y la respuesta de las plantas al medio ambiente es esencial (Bozhkov & Lam, 2011). Las células de la planta aunque están encerradas en una pared celular rígida de polisacáridos pueden presentar cambios dinámicos en su tamaño y forma, incluso después de haber recibido la señal de muerte celular. Estos cambios van junto con el desmantelamiento intracelular. Análisis comparativos de los mecanismos de muerte celular en plantas, animales y hongos proporcionarán un marco evolutivo para comprender la función de la MCP y su control en los diferentes sistemas biológicos.

## Ricinosomas

La MCP en las plantas se efectúa por un único grupo de cisteína endopeptidasas de tipo papaína con una señal de retención de retículo endoplásmico (RE) (Gietl *et al.*, 2000; Gietl & Schmid, 2001). La proforma de esta Cys-EP contiene una secuencia KDEL en su extremo C-terminal y se localiza en un orgánulo derivado del RE, el "ricinosoma". Los ricinosomas son esféricos y generalmente están vinculados por una membrana con ribosomas adheridos. La forma madura de los ricinosomas se libera al citosol durante la muerte celular del endosperma (Gietl *et al.*, 2000; Gietl & Schmid, 2001; Beers *et al.*, 2004). En los sucesos de MCP en la que están implicados los ricinosomas, se cree que la acidificación del citosol da como resultado el procesamiento autocatalítico de la enzima en su forma activa madura. Al mismo tiempo, los ricinosomas se hinchan y revientan, liberando estas enzimas muy activas, las cuales actúan en el proceso final del desmantelamiento del cuerpo celular (Senatore *et al.*, 2009).



**Fig. 1.** La cisteína endopeptidasa de *Ricinus communis* es sintetizada como una pre-pro-enzima con una señal de retención KDEL en el extremo C-terminal. Imagen modificada de Gietl & Schmid, 2001

La cisteína endopeptidasa de *Ricinus communis* es sintetizada como una pre-pro-enzima con una señal de retención KDEL en el extremo C-terminal (Fig. 1). Los ricinosomas y las enzimas dentro de estos orgánulos únicos han sido implicados en la MCP de las células del endosperma durante la germinación de semillas de ricino (*Ricinus communis* L.) (Gietl *et al.*, 1997; Schmid *et al.*, 1999), en pétalos senescentes de *Hemerocallis* spp. (Valpuesta *et al.*, 1995) y *Sandersonia aurantiaca* Hook. (O'Donoghue *et al.*, 2002), en la nucela durante el desarrollo de la semilla de ricino (Greenwood *et al.*, 2005). También se encontraron en el tegumento externo en desarrollo en la cubierta de la semilla del *Phalaenopsis amabilis* Blume (Nadeau *et al.*, 1996). Más recientemente, los ricinosomas, pero no las enzimas, han sido implicados en la MCP del endosperma de la semilla de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) durante la germinación (DeBono & Greenwood, 2006).

Las cisteína endopeptidasas con cola KDEL se encuentran en los tejidos sometidos a MCP, especialmente en las células que finalmente colapsan.

Se han clonado y secuenciado los genes de estas enzimas en varias especies de monocotiledoneas y dicotiledones tales como *Ricinus communis* L., *Arabidopsis thaliana*, *Vigna mungo* L. (Hepper) y

*Vigna radiata* (L.)Wilczek, *Pisum sativum* L., *Sandersonia aurantiaca* Hook. , *Oryza sativa* L., entre otros; el análisis de los resultados de estos estudios revela la existencia de una alta homología de secuencias de aminoácidos entre las diferentes especies.

Estas enzimas no tienen relación estructural con las caspasas y no se han encontrado genes homólogos en mamíferos o levaduras (Helm *et al.*, 2008)

En plantas, la presencia de una pared celular rígida y la ausencia de fagocitosis plantean un problema distinto respecto a la forma en la que la pared celular se degrada y la forma por la cual los productos de degradación de los contenidos celulares se transfieren a las células vecinas.

## Algunos ejemplos de MCP en estructuras reproductivas

En una flor con anteras ditécica, 4-locular, las dos tecas están unidas entre sí por el conectivo, a lo largo del cual circula el haz vascular. Cada una de las tecas está formada por dos lóculos o sacos polínicos los cuales, en la madurez, contienen los granos de polen. El tabique o septo que separa los sacos polínicos de una misma teca se denomina septo o tabique interlocular. A lo largo del desarrollo los sacos polínicos alojan inicialmente las células madres de las microsporas, las que por meiosis originan las microsporas; de las microsporas se generan los granos de polen luego de una (granos de polen 2-celulares) o dos (granos de polen 3 celulares) divisiones mitóticas. El grano de polen se rodea de una pared especializada, rica en esporopoleninas.

En las anteras el desarrollo y dehiscencia de la antera y la liberación del polen dependen de programas de MC de los diferentes tejidos, que componen la pared de la antera. La pared de la antera que rodea los sacos polínicos está constituida por tejidos altamente especializados, organizados en estratos; estos son, el tapete, los estratos parietales (uno o dos), el endotecio y la epidermis. La función de cada uno de estos estratos está relacionada con los cambios que experimenta el tejido esporógeno a lo largo del desarrollo. Salvo los estratos intermedios, que tienen vida muy breve, cada uno de los otros tejidos tiene una función específica, que la cumple en un tiempo definido: el tapete nutre las esporas y sintetiza los precursores de la esporopolenina; el endotecio cumple las funciones de soporte y dehiscencia de la antera madura, y la epidermis forma el estomio, el cual está involucrado en la dehiscencia de la antera. Con el desarrollo, el septo interlocular se absorbe y los dos sacos polínicos se fusionan en un único lóculo. Todos estos cambios que suceden en un tiempo relativamente corto, involucran una superposición de programas de desarrollo y de MCP que afecta los diferentes estratos en diferentes tiempos (Koltunow *et al.*, 1990; Beals & Goldberg, 1997). Los estudios de desarrollo de la antera combinados con el análisis TUNEL, revelan que los estratos parietales son los primeros estratos afectados, le sigue el tapete y finalmente el endotecio y la epidermis. La MCP que afecta al tapete, los estratos parietales y el septo o tabique es una muerte celular que no deja restos celulares ya que, en el proceso, se consumen las paredes celulares. Por el contrario, la MCP que afecta (o no) el endotecio y la epidermis, deja los tejidos intactos: el endotecio, con engrosamientos de pared secundaria en bandas lignificadas y la epidermis con sus paredes primarias conservadas.



**Fig. 2.** Cinco estados del desarrollo de la antera de *Solanum sisymbriifolium* Lam., desde el estado de células madres de las microsporas hasta la post-dehiscencia



En *Arabidopsis thaliana*, la MCP en las células del tapete involucra contracción celular, fragmentación de ADN, y desintegración de mitocondrias y citoesqueleto, pero no ruptura del tonoplasto (Parish & Li, 2010).

En tomate, Senatore et al. (2009) detectan, ricinosomas por inmunolocalización *in situ* en los diferentes tipos celulares de la pared, esto es, capas medias, endotecio y epidermis y también en el conectivo y en el septo interlocular. Curiosamente, estos autores no detectan ricinosomas en el tapete. Es interesante destacar que la presencia de ricinosomas ocurre en etapas muy tempranas del desarrollo, por lo que constituyen marcadores prematuros de la muerte celular.

La MCP de los pétalos o de los tépalos petaloides puede ser definida como senescencia, por lo que, de acuerdo a la clasificación de Van Doorn (2011) constituye un tipo de MCP de tipo vacuolar. Los pétalos y tépalos petaloides de una flor constituyen la parte visualmente más conspicua de una flor. Los pétalos tienen vida corta, y la inducción de la senescencia, está vinculada con el rol de estas piezas florales en la biología de la polinización. Al presente, los estudios de la MCP en pétalos de *Petunia inflata* R.E.Fr. (Xu & Hanson, 2000) y en tépalos de *Lilium longiflorum* Thunb. (Batelli et al., 2011) constituyen los estudios pioneros en este campo.

Xu & Hanson (2000) demuestran la existencia de un programa de muerte celular en pétalos de *Petunia inflata*, el cual se inicia inmediatamente luego de la polinización y que termina cuando los pétalos están totalmente secos y marchitos. En su estudio, los autores evalúan una serie de parámetros que constituyen marcadores de ciertos programas de muerte celular tales como los cambios en el contenido de agua, la degradación de proteínas, la integridad de las membranas, la actividad de las nucleasas, la fragmentación del ADN, y la compartimentación del citocromo C.

Por su parte Batelli et al. (2011), en el estudio de MCP de tépalos de *Lilium longiflorum* utilizan mutantes insensibles al etileno, llevando a cabo un estudio que abarca aspectos fisiológicos, bioquímicos y ultraestructurales. Al realizar el análisis del proceso en el nivel subcelular, demuestran la permeabilización creciente que ocurre en tonoplasto, a lo que sucede la disrupción de la vacuola. En etapas tardías del programa, los autores identifican tres clases de proteasas con actividad caspasas (contra YVAD, DEVD y VEID), las cuales regulan los estados finales de la senescencia.

Desde el desarrollo del saco embrionario hasta la formación de una semilla madura, se suceden diferentes programas de muerte celular que afectan los diferentes tejidos del óvulo. Un panorama general se puede trazar a lo largo del desarrollo, como a continuación se describe: (i) Previo a la anthesis, desde que se inicia la formación del saco embrionario, comienza la muerte celular del tejido



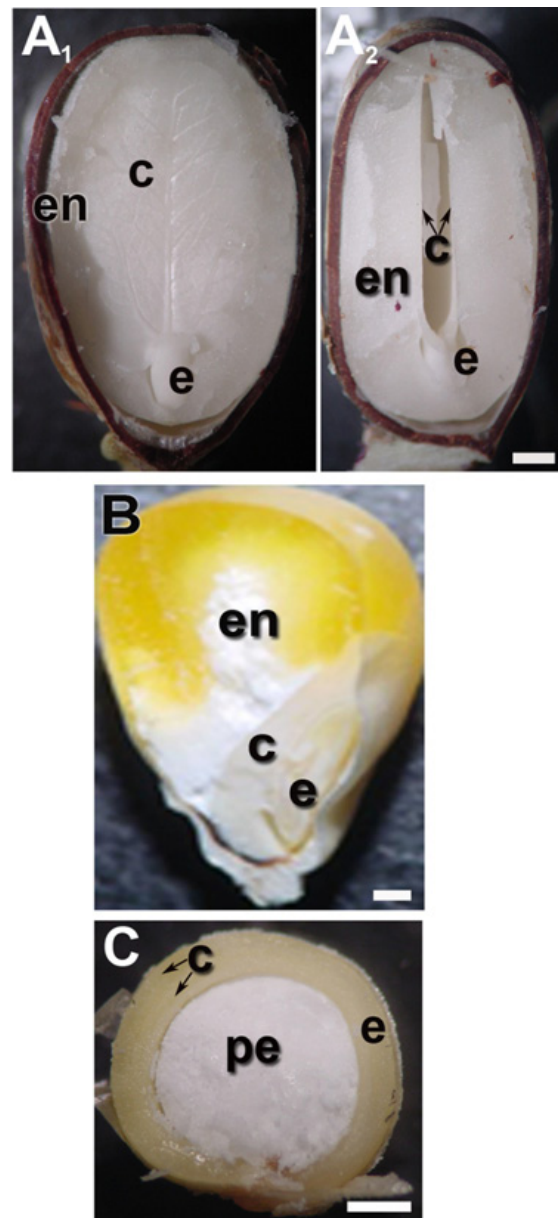
**Fig. 3.** Seis estados del desarrollo de la corola en *Solanum sisymbriifolium* Lam. Los cinco primeros estados equivalen a los estados de la antera de la figura 2. El último estado (pétalos senescentes) precede a la abscisión de la corola

de la nucela. En el momento de la antesis, dependiendo del tamaño de la nucela, la desaparición del tejido nucelar puede ser total (ej. en la familia Asteraceae) o sólo parcial (ej. en Cucurbitaceae, en Amaranthaceae). (ii) Luego de la fecundación, en aquellos casos en que la nucela persiste, la misma es consumida totalmente durante el desarrollo del endosperma. (iii) Sin embargo, en algunas familias como Amaranthaceae (como en otras familias de Caryophyllales) Piperaceae, Nymphaeaceae, y en géneros de Liliaceae, Zingiberaceae entre otras (Werker, 1997), parte de la nucela persiste en la semilla madura constituyendo el perisperma, es decir, un tejido que va a ceder sus reservas durante la germinación. (iii) El desarrollo del embrión consume parcial o totalmente el endosperma, originando semillas endospermadas o exendospermadas, respectivamente.

El aumento de tamaño de la semilla se acompaña con el crecimiento del endosperma (a expensas de la nucela), y del embrión (a expensas del endosperma). Los tegumentos del ovulo deben ajustarse a este crecimiento, y lo hacen ya sea por división y/o por expansión de sus células. Este crecimiento se detiene cuando la semilla inmadura alcanza su tamaño definitivo y es esta etapa del desarrollo en la que las células de los diferentes estratos tegumentarios desarrollan características especiales relacionadas con las funciones de protección contra patógenos, daños mecánicos y sobre todo contra la pérdida de agua. En algún momento de este desarrollo, en tiempos que varían de acuerdo a la especie, los células de cada estrato tegumentario inician un programa de muerte celular que puede conducir a la desaparición total del estrato (muerte sin cadáver) o a la persistencia de las células muertas (muerte con cadáver); cada uno de los diferentes estratos tiene su propio programa de muerte celular, lo cual es propio de la especie, del género o de la familia.

Los programas de muerte celular de nucela y endosperma de cayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw. ricino (*Ricinus communis* L.) maíz (*Zea mays* L.) (y otros cereales como trigo, cebada) y de quinoa, han sido estudiados por diferentes autores. En general, del embrión solo muere el suspensor.

Las semillas de *Ricinus communis* L. (Fig. 4 A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>) y de *Sechium edule* (Jacq.) Sw., ambas semillas endospermadas, en las que el endosperma maduro almacena proteínas y lípidos para ser usados por el embrión en la germinación. Ambas siguen un mismo modelo básico en la formación de la semilla: durante el desarrollo, el endosperma consume la nucela y el embrión consume una pequeña parte del endosperma circundante. Lombardi et al. (2007) estudian la muerte celular de la nucela de *Sechium edule* durante el desarrollo del endosperma, y demuestran el rol relevante de las proteasas tipo caspasas en este proceso. Por su parte, Greenwood et al. (2005) comprueban en semillas de ricino, la presencia de ricinosomes en el proceso de muerte celular de la nucela.



**Fig. 4.** Semillas maduras de ricino (A-B), maíz (B) y quinoa (C). Abreviaturas: c, cotiledón; e, eje; en, endosperma; pe, perisperma. Escalas: 1 mm (A y B); 0.5 mm (C)

Las semillas de Poaceae son endospermadas (Fig. 4 B). El endosperma que constituye la capa de aleurona es un tejido vivo y reservante de proteínas, lípidos y minerales, que muere durante la germinación (Bewley et al., 2013; Young et al., 1997; Young & Gallie, 1999). Por el contrario, el endosperma amiláceo, constituye un tejido muerto a la madurez, es decir, muere durante el desarrollo (Bewley et al. 2013). El crecimiento del embrión consume una pequeña parte del endosperma que lo bordea; por su parte, el endosperma que crece consume totalmente la nucela y queda en contacto con los restos del tegumento interno del óvulo. Durante el desarrollo de la semilla, el pericarpio y los tegumentos del óvulo mueren siguiendo su propio programa de MCP. En el desarrollo del embrión muere solo el suspensor pero el escutelo, el coleoptilo, la coleorriza y la caliptra radical, todas estructuras que no contribuyen al cuerpo adulto de la planta, inician un programa de muerte celular que se interrumpe al alcanzar la madurez de la semilla, y continúa inmediatamente al iniciarse la germinación (Giuliani et al., 2002). Por su parte, Young & Gallie (1997; 2000) estudian el rol del ABA, etileno, y ácido giberélico en la regulación del inicio y progresión de la MCP en el desarrollo del endosperma amiláceo de maíz. La endo-reduplicación acompaña la MCP en el endosperma amiláceo de Poaceae (Sabelli, & Larkins, 2012).

La semilla de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es perispermada con un perisperma o cuerpo basal característico de las Caryophyllales (Fig. 4 C). En quinoa, López Fernández & Maldonado (2013 a y b) estudian los programas de muerte celular a lo largo del desarrollo de la semilla; los estudios incluyen la MCP del perisperma, del endosperma, del suspensor, de los tegumentos seminales y del pericarpio, este último que se disemina junto con la semilla. La caracterización de la MCP se evalúa mediante estudios sobre la degradación del ADN nuclear, la expresión de proteasas tipo caspasas y de nucleasas, la endo-reduplicación y los cambios morfológicos en el núcleo y citoplasma; adicionalmente se comprueba, mediante técnicas inmunológicas, la presencia de ricinosomas como marcador asociado a la MCP de las células del suspensor y del endosperma predestinadas a morir durante el desarrollo de la semilla.

## Referencias bibliográficas

- Balk, J. & Leaver, C.J. 2001. The PET1-CMS mitochondrial mutation in sunflower is associated with premature programmed cell death and cytochrome c release. **The Plant cell** **13(8)**: 1803–18.
- Beals, T.P. & Goldberg, R.B. 1997. A novel cell ablation strategy blocks tobacco anther dehiscence. **Plant Cell** **9**: 1527–1545
- Beers, E.P., Jones, A.M., & Dickerman, A.W. 2004. The S8 serine, C1A cysteine and A1 aspartic protease families in Arabidopsis. **Phytochemistry** **65**: 43–58.
- Bewley JD, Bradford J, Hilhorst H, Nonogaki H. 2013. **Seeds Physiology of Development, Germination and Dormancy**, 3rd Edition. Springer New York Heidelberg Dordrecht London.
- Bonneau, L., Ge, Y., Drury, G.E. & Gallois, P. 2008. What happened to plant caspases? **Journal of experimental botany** **59(3)**: 491–9. doi:10.1093/jxb/erm352
- Bozhkov, P.V., Filonova, L.H., & Suárez, M.F. 2005a. Programmed cell death in plant embryogenesis. **Current Topics in Developmental Biology** **67**: 135–179.
- Bozhkov, P.V., Suarez, M.F., Filonova, L.H., Daniel, G., Zamyatnin, A.A. Jr, Rodriguez-Nieto, S., Zhivotovsky, B., & Smertenko, A. 2005b. Cysteine protease mclI-Pa executes programmed cell death during plant embryogenesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences** **102**: 14463–14468.
- Bozhkov, P. & Lam, E. 2011. Green death: revealing programmed cell death in plants. **Cell death and differentiation** **18(8)**: 1239–40.
- Cavallini, A., Natali, L., Balconi, C., Rizzi, E., Motto, M., Cionini, G., & D'Amato, F. 1995. Chromosome endoreduplication in endosperm cells of two maize genotypes and their progenies. **Protoplasma** **189**: 156–162.

- Chichkova, N.V., Shaw, J., Galiullina, R.A., Drury, G.E., Tuzhikov, A.I., Kim, S.H., Kalkum, M., Hong, T.B., Gorshkova, E.N., Torrance, L., Vartapetian, A.B., & Taliansky, M. 2010. Phytaspase, a relocatable cell death promoting plant protease with caspase specificity. **EMBO Journal** **29**: 1149–1161.
- Coffeen, W.C., & Wolpert, T.J. 2004. Purification and characterization of serine proteases that exhibit caspase-like activity and are associated with programmed cell death in *Avena sativa*. **The Plant Cell** **16**: 857–873.
- Coll, N.S., Vercammen, D., Smidler, A., Clover, C., Van Breusegem, F., Dangl, J. L., & Epple, P. 2010. *Arabidopsis* type I metacaspases control cell death. **Science** **330(6009)**: 1393–1397.
- D'Amato, F. 1984. **Embryology of Angiosperms**. Role of polyploidy in reproductive organs and tissues. In: Johri BM, ed. Berlin: Springer, 519-566.
- Danon, A., Delorme, V., Mailhac, N., & Gallois, P. 2000. Plant programmed cell death: a common way to die. **Plant Physiology and Biochemistry** **38(9)**: 647-655.
- DeBono, A., & Greenwood, J. 2006. Characterization of programmed cell death in the endosperm cells of tomato seed: two distinct death programs. **Canadian Journal of Botany** **84**: 791-804.
- Domínguez, F., Moreno, J., & Cejudo, F.J. 2004. A gibberellin-induced nuclease is localized in the nucleus of wheat aleurone cells undergoing programmed cell death. **Journal of Biological Chemistry** **279**: 11530–11536.
- Domínguez, F., Moreno, J., & Cejudo, F.J. 2012. The scutellum of germinated wheat grains undergoes programmed cell death: identification of an acidic nuclease involved in nucleus dismantling. **Journal of Experimental Botany** **63**: 5475-5485
- Fath, A., Bethke, P., & Jones, R. 1999. Barley aleurone cell death is not apoptotic: characterization of nuclease activities and DNA degradation. **Plant Journal**, **20**: 305–315.
- Gietl, C., Wimmer, B., Adamec, J., & Kalousek, F. 1997. A cysteine endopeptidase isolated from castor bean endosperm microbodies processes the glyoxysomal malate dehydrogenase precursor protein. **Plant Physiology** **113**: 863–871.
- Gietl C, Schmid M, & Simpson D. 2000. **Vacuolar Compartments**. Ricinosomes and aleurain-containing vacuoles (ACVs): protease-storing organelles. In Robinson DG, Rogers JC, eds. Sheffield: Sheffield Academic, **5**: 99-111.
- Gietl, C., & Schmid, M. 2001. Ricinosomes: an organelle for developmentally regulated programmed cell death in senescing plant tissues. **Naturwissenschaften** **88**: 49-58.
- Giuliani, C., Consonni, G., Gavazzi, G., Colombi, M., Dolfini, S. 2002. Programmed cell death during embryogenesis in maize. **Annals of Botany** **90**: 287-292.
- Gunawardena A. 2008. Programmed cell death and tissue remodelling in plants. **Journal of experimental botany** **59(3)**: 445–51.
- Gunawardena, A., Pearce, D., Jackson, M., Hawes, C., & Evans, D. 2001. Characterization of programmed cell death during aerenchyma formation induced by ethylene or hypoxia in roots of maize (*Zea mays* L.). **Planta** **212(2)**: 205–14.
- Greenberg, J., Guo, A., Klessig, D., & Ausubel, F. 1994. Programmed cell death in plants: a pathogen-triggered response activated coordinately with multiple defense functions. **Cell** **77(4)**: 551–63.
- Greenwood J.S., Helm M. & Gietl C. 2005. Ricinosomes and endosperm transfer cell structure in programmed cell death of the nucellus during *Ricinus* seed development. **PNAS** **102 (6)**: 2238–2243.
- Hatsugai, N., Kuroyanagi, M., Yamada, K., Meshi, T., Tsuda, S., Kondo, M., Nishimura, M., & Hara-Nishimura, I. 2004. A plant vacuolar protease, VPE, mediates, virus-induced hypersensitive cell death. **Science** **305 (5685)**: 855-858.
- He X. & Kermode, A.R. 2003. Nuclease activities and DNA fragmentation during programmed cell death of megagametophyte cells of white spruce (*Picea glauca*) seeds. **Plant Molecular Biology** **51**: 509-521.
- Helm, M., Schmid, M., Hierl, G., Terneus, K., Tan, L., Lottspeich, F., Kieliszewski, M.J., & Gietl, C. 2008. KDEL-tailed cysteine endopeptidases involved in programmed cell death, intercalation of new cells, and dismantling of extensin scaffolds. **American Journal of Botany** **95**: 1049-1062.

- Helmersson, A., von Arnold, S., & Bozhkov, P. 2008. The level of free intracellular zinc mediates programmed cell death/cell survival decisions in plant embryos. **Plant Physiology** **147**: 1158–1167.
- Hofius, D., Schultz-Larsen, T., Joensen, J., Tsitsigiannis, D., Petersen, N., Mattsson, O., Bolt Jørgensen, L., Jones, J., Mundy, J., & Petersen, M. 2009. Autophagic components contribute to hypersensitive cell death in *Arabidopsis*. **Cell** **137**: 773–783
- Hoeberichts, F.A. & Woltering, E.J., & 2002. Do plant caspases exist? **Plant Physiology** **130**: 1764–1769.
- Jones, A.M. 2000. Does the plant mitochondrion integrate cellular stress and regulate programmed cell death. **Trends in Plant Science** **5**: 225–230.
- Koltunow, A.M., Truettner, J., Cox, K.H., Wallroth, M., & Goldberg, R.B. 1990. Different temporal and spatial gene expression pattern occur during anther development. **Plant Cell** **2**: 1201–1224
- Kowles, R.V., Srienc, F., & Phillips, R.L. 1990. Endoreduplication of nuclear DNA in the developing maize endosperm. **Developmental Genetics** **11**: 125–132.
- Kuriyama, H. & Fukuda, H. 2002. Developmental programmed cell death in plants. **Current Opinion in Plant Biology** **5**: 568–573
- Lam, E., & del Pozo, O. (2000). Caspase-like protease involvement in the control of plant cell death. **Plant Molecular Biology** **44(3)**: 417–428.
- Larkins, B.A., Dilkes, B.P., Dante, R.A., Coelho, C.M., Woo, Y.M., & Liu, Y. 2001. Investigating the hows and whys of DNA endoreduplication. **Journal of Experimental Botany** **52(355)**: 183–192.
- Lombardi, L., Casani, S., Ceccarelli, N., Galleschi, L., Picciarelli, P., & Lorenzi, R. 2007. Programmed cell death of the nucellus during *Sechium edule* Sw. seed development is associated with activation of caspase-like proteases. **Journal of Experimental Botany** **58**: 2949–2958
- López-Fernández, M.P., & Maldonado, S. 2013a. Programmed cell death during quinoa perisperm development. **Journal of Experimental Botany** **64 (11)**: 3313–25.
- López-Fernández, M.P., & Maldonado, S. 2013b. Quinoa ricinosomes early mark suspensor and endosperm cells destined to die during late seed development. **Annals of Botany** **112 (7)**: 1253–1262.
- Lur, H. & Setter, T. 1993. Role of auxin in maize endosperm development. **Plant Physiology** **103**: 273–280
- Madeo, F., Herker, E., Maldener, C., Wissing, S., Lächelt, S., Herlan, M., Fehr, M., Lauber, K., Sigrist, S., Wesselborg, S., & Fröhlich, K. 2002. A caspase-related protease regulates apoptosis in yeast. **Molecular Cell**, **9**: 911–917
- Martínez, M., Díaz-Mendoza, M., Carrillo, L., & Díaz, I. 2007. Carboxy terminal extended phytocystatins are bifunctional inhibitors of papain and legumain cysteine proteinases. **FEBS Letters** **581**: 2914–2918.
- Mittler, R., & Lam, E. 1995. Identification, characterization, and purification of a tobacco endonuclease activity induced upon hypersensitive response cell death. **The Plant cell**, **7(11)**: 1951–62. doi:10.1105/tpc.7.11.1951
- Nadeau, J.A., Zhang, X.S., Li, J., & O'Neill, S.D. 1996. Ovule development: Identification of stage- specific and tissue-specific cDNAs. **Plant Cell** **8**: 213 – 239.
- Nagl W. 1974. The Phaseolus suspensor and its polytene chromosomes. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie** **73**: 1–44
- Nakaune, S., Yamada, K., Kondo, M., Kato, T., Tabata, S., Nishimura, M., & Hara-Nishimura, I. 2005. A vacuolar processing enzyme, dVPE, is involved in seed coat formation at the early stage of seed development. **The Plant Cell** **17**: 876–887.
- O'Donoghue, E.M, Somerfield, S.D, & Heyes, J.A. 2002. Organization of cell walls in *Sandersonia aurantiaca* floral tissues. **Journal of Experimental Botany** **53**: 513 – 523.
- Radchuk, V., Weier, D., Radchuk, R., Weschke, W., & Weber, H. 2011. Development of maternal seed tissue in barley is mediated by regulated cell expansion and cell disintegration and coordinated with endosperm growth. **Journal of Experimental Botany** **62**: 1217–1227.
- Rajo, E., Martín, R., Carter, C., Zouhar, J., Pan, S., Plotnikova, & J., Raikhel, N.V. 2004. VPEy exhibits a caspase-like activity that contributes to defense against pathogens. **Current Biology** **14(21)**: 1897–1906
- Sabelli, P.A. & Larkins, B.A. 2012. The development of endosperm in grasses. **Plant Physiology** **149**: 14–26.

- Scott, I. & Logan, D.C. 2008. Mitochondrial morphology transition is an early indicator of subsequent cell death in *Arabidopsis*. **The new Phytologist 177**: 90–101.
- Schmid, M., Simpson, D.J., & Gietl, C. 1999. Programmed cell death in castor bean endosperm is associated with the accumulation and release of a cysteine endopeptidase from ricinosomes. **Proceedings of the National Academy of Sciences 96**: 14159–14264
- Suárez, M., Filonova, L., Smertenko, A., Savenkov, E.I., Clapham, D.H., von Arnold, S., Zhivotovsky, B., & Bozhkov, P. 2004. Metacaspase-dependent programmed cell death is essential for plant embryogenesis. **Current Biology 14**: R339–R340.
- Senatore, A., Trobacher, C.P., & Greenwood, J.S. 2009. Ricinosomes predict programmed cell death leading to anther dehiscence in tomato. **Plant Physiology 149**: 775–790.
- Sugiyama, M., Ito, J., Aoyagi, S., & Fukuda, H. 2000. Endonucleases. **Plant Molecular Biology 44**: 387–397.
- Thelen, M.P & Northcote, D.H. 1989. Identification and purification of a nuclease from *Zinnia elegans* L.: a potential molecular marker for xylogenesis. **Planta 179**: 181–195.
- Valpuesta, V., Lange, N.E., Guerrero, C., & Reid, M.S. 1995. Up-regulation of a cysteine protease accompanies the ethylene-insensitive senescence of daylily (*Heimerocallis*) Flowers. **Plant Molecular Biology 28**: 575–582.
- Van Doorn, W.G., Beers, E.P., Dangl, J.L., Franklin-Tong, V.E., Gallois, P., Hara-Nishimura, I., Jones, A.M., Kawai-Yamada, M., Lam, E., Mundy, J., Mur, L.A.J., Petersen, M., Smertenko, A., Taliansky, M., Van Breusegem, F., Wolpert, T., Woltering, E., Zhivotovsky, B., & Bozhkov, P. 2011. Morphological classification of plant cell deaths. **Cell Death and Differentiation 18**: 1241–1246.
- Vercammen, D., van de Cotte, B., De Jaeger, G., Eeckhout, D., Casteels, P., Vandepoele, K., Vandenberghe, I., Van Beeumen, J., Inzé, D., & Van Breusegem, F. 2004. Type II metacaspases Atmc4 and Atmc9 of *Arabidopsis thaliana* cleave substrates after arginine and lysine. **The Journal of Biological Chemistry 279**: 45329–45336.
- Vercammen, D., Belenghi, B., van de Cotte, B., Beunens, T., Gavigan, J.A., & De Rycke, R. 2006. Serpin1 of *Arabidopsis thaliana* is a suicide inhibitor for metacaspase 9. **Journal of Molecular Biology 364**: 625–636
- Watanabe, N. & Lam, E. 2005. Two *Arabidopsis* metacaspases AtMCP1b and AtMCP2b are arginine/lysine-specific cysteine proteases and activate apoptosis-like cell death in yeast. **The Journal of Biological Chemistry 280**: 14691–14699.
- Watanabe, N. & Lam, E. 2011. *Arabidopsis* metacaspase 2d is a positive mediator of cell death induced during biotic and abiotic stresses. **The Plant Journal 66**: 969–982
- Werker, E. 1997. **Seed Anatomy**. Encyclopedia of Plant Anatomy, Bd. 10 Teil 3. Spezieller Teil. Berlin.
- Wu, H. & Cheung, A. 2000. Programmed cell death in plant reproduction. **Plant Molecular Biology 44(3)**: 267–281.
- Xu, Y. & Hanson, M. 2000. Programmed cell death during pollination-induced petal senescence in *Petunia*. **Plant Physiology 122(4)**: 1323–33.
- Young, T.E., Gallie, D.R. & DeMason, D.A. 1997. Ethylene mediated programmed cell death during maize endosperm development of Su and sh2 genotypes. **Plant Physiology 115**: 737–751.
- Young, T.E. & Gallie, D.R. 1999. Analysis of programmed cell death in wheat endosperm reveals differences in endosperm development between cereals. **Plant Molecular Biology 39**: 915–926.
- Young TE & Gallie DR. 2000. Programmed cell death during endosperm development. **Plant Molecular Biology 44**: 283–301.
- Zhang, H., Dong, S., Wang, M., Wang, W., Song, W., Dou, X., Zheng, X., & Zhang, Z. 2010. The role of vacuolar processing enzyme (VPE) from *Nicotiana benthamiana* in the elicitor-triggered hypersensitive response and stomatal closure. **Journal of Experimental Botany 61**: 3799–3812.

# COMPARATIVE MORPHOLOGY OF BASAL ASTERACEAE

Liliana Katinas<sup>1,2,3</sup>, Marcelo Paulo Hernández<sup>2</sup> and Ana María Arambarri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Museo de La Plata, División Plantas Vasculares, La Plata, Argentina.

[katinas@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:katinas@fcnym.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup>Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Morfología Comparada de Espermatófitas (LAMCE), La Plata, Argentina.

## Introduction

The basalmost branches in the molecular-based phylogenetic tree of the family Asteraceae comprises the subfamily Barnadesioideae (9 genera, 91 species) followed by several lineages: subfamilies Mutisioideae sensu stricto, Gochnatioideae, Hecastocleidoideae, Wunderlichioideae, Pertyoideae, the tribe Stifftieae and the subfamily Carduoideae (Funk *et al.* 2005, 2009). A different perspective was developed by Katinas *et al.* (2008) in their morphology-based classification who placed these lineages, with the exception of Carduoideae, in the subfamily Mutisioideae sensu lato (74 genera, ca. 865 species). Katinas *et al.*'s (2008) classification mostly agrees with that of Cabrera (1961, 1977) who, in addition, included the Barnadesioideae (as subtribe Barnadesiinae) in this group.

Whereas Barnadesioideae is a more or less well-defined subfamily, Mutisioideae sensu lato (called Mutisioideae hereafter) is a morphologically heterogeneous group, being a key question how to circumscribe the subfamily. The morphological analysis performed by Katinas *et al.* (2008) focused in the floral characters corolla, anthers, style, and pollen because vegetative characters are not useful for taxonomic circumscription in this group, and compared these characters with those of Barnadesioideae and other closer subfamilies such as Carduoideae and Cichorioideae (Arctoteae, Cichorieae, Liabeae, Vernonieae). As occurs in most groups of Asteraceae with the higher taxonomic ranks, the style features resulted key for Mutisioideae in comparison with the other characters. The mutisioid style is different from the carduoid, arctotoid, (commonly apically thickened and with a ring of hairs below the two branches bifurcation) and vernonioid styles (with acute hairs) that characterize the subfamilies Carduoideae and Cichorioideae. The styles of Mutisioideae and Barnadesioideae, however, resemble each other and would support Cabrera's (1961, 1977) inclusion of Barnadesioideae in the Mutisioideae.

On the other hand, a comparison of the features mentioned above between basally-branched members of Asteraceae with Calyceraceae, the sister family to Asteraceae, has not been performed yet. In this contribution we review the comparison of floral features between Mutisioideae and Barnadesioideae and expand this comparison to include our preliminary results in the Calyceraceae.

## Materials and methods

This study is based on the literature (Pontiroli 1963; Skvarla *et al.* 1977; Hansen 1992; Hellwig 1997; Katinas *et al.* 2008) and on the investigation of herbarium materials:

CALYCERACEAE: *Acicarpa procumbens* Less.: Argentina. Entre Ríos: Sin loc., X/1963, sin leg. (LPS s.n. en LP). *Boopis australis* Decaisne: Argentina. Santa Cruz: Río Santa Cruz, II/1882, sin leg. (LPS 12810 en LP). *Calycera calcitrapa* Griseb.: Argentina. Salta: Dpto. Cafayate, Cafayate, 15/III/1958, Cabrera & Marchionni 13083 (LP). *Gamocarpha dentata* Phil.: Argentina. Neuquén: Termas de Copahue, 20/II/1940, Cabrera 6283 (LP). *Moschopsis caleufuensis* (Speg.) Dusen: Argentina. Neuquén: Los Quemados, Rincón Grande, I/1942, de Jones 100 (LP). *Nastanthus patagonicus* Speg.: Argentina. Chubut: Cabo Raso, I/1904, sin leg. (LPS 12936 en LP). ASTERACEAE, BARNADESIOIDEAE: *Barnadesia odorata* Griseb.: Argentina. Jujuy: San Salvador de Jujuy, 20/X/1963, Fabris 4679 (LP). *Chuquiraga erinacea* D. Don: Argentina. Mendoza: Río Diamante, Ruta 40, 3/I/1956, Böeche *et al.* 2037 (LP). *Schlechtendalia luzulaefolia* Less.: Argentina. Entre Ríos: Parque Nacional El Palmar, Arroyo El Palmar, 20/XII/1986, Xifreda & Maldonado 585 (LP). ASTERACEAE, MUTISIOIDEAE: *Mutisia acuminata* Ruiz & Pav.: Argentina. Salta: De San Felipe a Santa Victoria Oeste, cerca del Río Acoite, 5/V/1986, Hurrel 117 (LP). *Nassauvia glomerulosa* (Lindl.) D. Don: Argentina. Chubut: RN 3, 8 km S empalme con RP 28, 24/XI/1990, Katinas *et al.* 15 (LP). *Proustia cuneifolia* D. Don: Argentina. Jujuy: Caspalá, 12/III/1967, Fabris & Crisci 6986 (LP). *Trichocline auriculata* (Wedd.) Hieron.: Argentina. Jujuy: Puente del Diablo, 5 km al Sur de Tres Cruces, III/1970, Fabris & Zuloaga 7791 (LP). *Trixis divaricata* (Kunth) Spreng.: Argentina. Misiones: Loreto, 9/IX/1946, Montes 2519 (LP).

Mature flowers were reconstituted in water with a drop of detergent and placed in an oven at 30°C for 24-72 h then fixed in formalin-aceto-alcohol (FAA 70%) (Johansen 1940). The fixed material was dissected, stained with 2 % safranin, and mounted in glicerine. Observations were carried out on Leitz SM Lux light microscope and photographs were taken with a Moticam 2300 and the software Motic Image Plus 2.0.

## Results and Discussion

Our results are summarized in Table 1 and discussed below.

### Corolla

The corolla shape in Mutisioideae and Barnadesioideae is highly variable (Stuessy & Urtubey 2006; Katinas *et al.* 2008), containing almost all types and intermediate types found in the family. Calyceraceae, on the other hand, characterizes by the tubular corollas cylindrical to narrowly infundibuliform, with (4)5 short corolla lobes or with a slender basal tube and a widened limb with the uppermost part campanulate, the lobes may be uncinata or uncinata-cucullate. Hansen (1992) mentioned "in litt." the presence of tubular-bilabiate corollas for Calyceraceae but without citing the source. Our literature search and material analysis failed to find this type of corolla in the Calyceraceae.

### Stamens

The stamens in Asteraceae are typically five, with the filaments usually free and the anthers introrse and united into a tube surrounding the style. There is variation in the development of the connective tissue between the anthers that may extend upwards forming an apical appendage or downwards forming tails of different lengths. There are stamen's characteristics of Calyceraceae that mark a departure from the whole family Asteraceae, such as the filaments connate, sometimes distally free, with nectary glands at the base. The five anthers are connate, at least at their base, and introrse.



**Table 1.** A comparison of corollas stamen, pollen, pubescence, and style features between subfamilies Mutisioideae and Barnadesioideae (Asteraceae) and Calyceraceae, according to the key characters pointed out by Katinas *et al.* (2008). ? = dubious

	Asteraceae		Calyceraceae
	Mutisioideae	Barnadesioideae	
Corollas	Bilabiate: 3+2 lips Tubular: 0+5 lobes Ligulate: 5+0 lobes True ray: 3+0 lobes Tubular-bilabiate Sub-bilabiate: 3-4+1 Filiform -----	Bilabiate Tubular Ligulate ----- ----- Sub-bilabiate ----- Sub-ligulate	----- Tubular ----- ----- ? ----- ----- -----
Stamens	Caudate with long tails, rarely auriculate  Apical appendage well developed	Caudate with long tails, auriculate, or decurrent with the filament  Apical appendage well developed, lacking or inconspicuous	Ecaudate, rarely auriculate  Apical appendage lacking or inconspicuous
Pollen	Non-lophate ----- Exine: Ecaveate ----- bilayered, both layers clearly columellate or very thickly disposed in ectosexine	Non-lophate Lophate Exine: Ecaveate, caveate columellate-granulate or compact	Non-lophate ----- Exine: Ecaveate, caveate anthemoid, senecioid, and modified anthemoid
Pubescence	-----	Barnadesioid hairs	-----
Style	Shaft Uniform  Stigma divided into two lobes or branches  External face of lobes or branches smooth or papillose  Distribution of external papillae (when present) scattered or in an apical tuft Internal face of lobes or branches papillose	Shaft uniform, widened below the stigma, or widened upwards from the middle of the shaft Stigma divided into two lobes or branches External face of lobes or branches smooth or papillose Distribution of external papillae (when present) scattered  Internal face of lobes or branches papillose	Shaft widened below the stigma  Stigma undivided and capitate  Capitate stigma papillose  Distribution of papillae scattered  -----

## Pollen

It was established that the pollen of basally-branching Asteraceae is very similar to that of the outgroups Goodeniaceae and Calyceraceae (Funk *et al.* 2009 and references herein). One of the outcomes was the suggestion that Calyceraceae were most closely related to Asteraceae based on the ultrastructural similarity of *Nastanthus* (Calyceraceae) and some genera of Barnadesioideae (Asteraceae). The Anthemoid pattern (i.e., the columellae terminate distally into a complex of shortened columellae and are separated by an ill-defined irregular internal tectum layer) of Calyceraceae resembles to that found in species of *Dasyphyllum* and *Schlechtendalia* (Barnadesioideae), but both genera show some deviations from this pattern because of their intercolpar concavities (surface depressions between colpi). *Dasyphyllum* has a senecioid pattern, the exine is caveate with the columellae showing complex bases. *Schlechtendalia* shows a modified Anthemoid pattern, the exine is non-caveate with the columellae showing two distinct levels of internal tecta (Skvarla *et al.* 1977). On the other hand, the pollen of Barnadesioideae differs from that of Mutisioideae because the exine is spongy, granulate, granulate-columellate or scarcely columellate, and in some genera is caveate (Katinas *et al.* 2008).

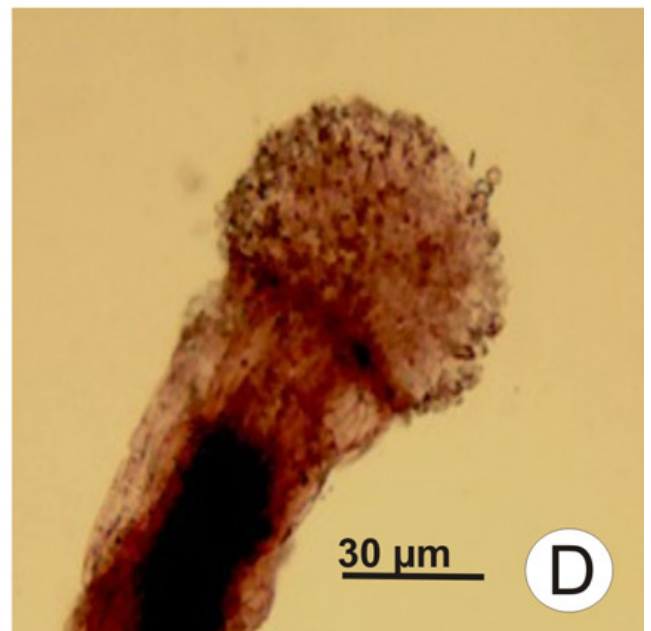
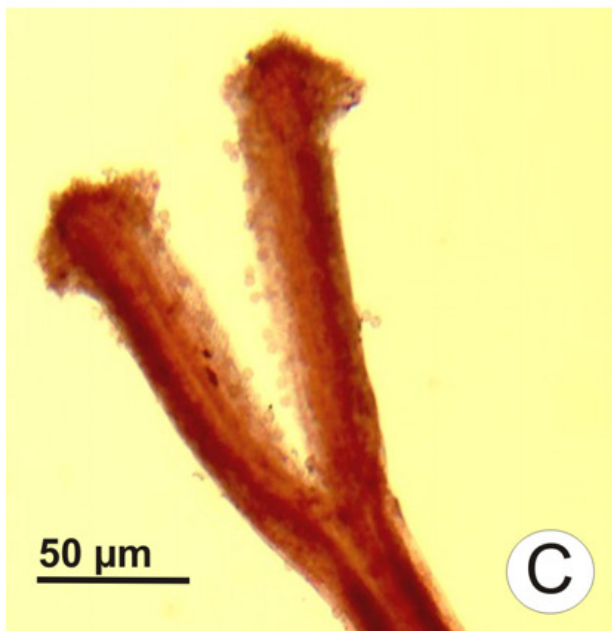
## Pubescence

All members of Barnadesioideae have a unique type of indumentum in vegetative and/or reproductive organs, called “barnadesioid hair” (Bremer & Jensen 1992) These hairs have an apical cell very long, tapering above, with thick walls, and a basal cell broader than long, also thickened, that articulates to a normal adjacent epidermal cell (Katinas & Stuessy 1997). This type of hair is lacking in the rest of the members of the family Asteraceae and in the Calyceraceae.

## Style

The styles in Asteraceae are typically apically divided into two short or long branches; we use here the term “lobes” for the short branches. The styles of Mutisioideae are most similar to those of the Barnadesioideae than to any other group of Asteraceae (Katinas *et al.* 2008). Mutisioideae and Barnadesioideae share the papillose or smooth external face of the lobes or branches, and in Nassauvieae (Mutisioideae) the papillae also form an apical tuft (Fig. 1 A-C). In both subfamilies, the inner face of the style arms bears stigmatic papillae that cover the entire surface or in *Mutisia*, for example, they are disposed in two marginal bands (Bessa *et al.* 2010; our observations). The comparison between the style features of basal Asteraceae and Calyceraceae (Table 1) shows that one of the main differences is the cleft style apex of Asteraceae and the undivided style of Calyceraceae (Fig. 1 D). The implications of this difference are important because the external and internal face in the style branches of Asteraceae reflect different functions in the pollination process: the external face brushes or pushes the pollen from the anther tube and expose it to pollinators (Leins & Erbar 2006), and the internal face is a receptive, stigmatic surface. The Calyceraceae, with its undivided stigma, lack this division of functions.

In summary the barnadesioid hair is exclusive of Barnadesioideae (Asteraceae). The pollen of Barnadesioideae differs from that of Mutisioideae and is closer to the pollen of Calyceraceae. Mutisioideae, Barnadesioideae and Calyceraceae share the tubular corolla, being this the only type in Calyceraceae but showing a wide range of overlapping types in Barnadesioideae and Mutisioideae. Stamens of Calyceraceae are most similar to those of Barnadesioideae, but Calyceraceae has some unique



**Figure 1.** A. Style apex in *Schlechtendalia luzulaefolia* Less. (Asteraceae, Barnadesioideae). B. Style apex in *Mutisia acuminata* Ruiz & Pav. (Asteraceae, Mutisioideae). C. Style apex in *Nassauvia glomerulosa* (Lindl.) D. Don (Asteraceae, Mutisioideae). D. Style apex in *Calycera calcitrapa* Griseb. (Calyceraceae).

features which differentiate this family from the Asteraceae. The two-cleft stigma of Asteraceae where each branch has two faces, an internal and an external one representing a division of functions for pollination, differs from that of Calyceraceae which have a style undivided, with a terminal, club-like head. A detailed study of the basally-branching members of Asteraceae and of Calyceraceae styles, with a broader sampling, is now in progress to test the homology of these features.

## References

- Bessa, J., Cruz, K.C. & Vieira, M.F. 2010. Location of the stigmatic areas in *Mutisia speciosa* Aiton ex Hook.: A new floral feature in Asteraceae. **Sexual Plant Reproduction** **23**: 207-209.
- Bremer, K. & Jansen, R.K. 1992. A new subfamily of the Asteraceae. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **79**: 414-415.
- Cabrera, A.L. 1961. Compuestas argentinas. Clave para la determinación de los géneros. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Botánica** **2**: 291-362.
- Cabrera, A.L. 1977. Mutisieae- Systematic review. Pp. 1039-1066. In: Heywood, V.H., Harborne, J.B. & Turner, B.L. (Eds.). **The biology and chemistry of the Compositae**, v. 2. London, Academic Press.
- Funk, V.A., Bayer, R.J., Keeley, S., Chan, R., Watson, L., Gemeinholzer, B., Schilling, E., Panero, J.L., Baldwin, B.G., Garcia-Jacas, N., Susanna, A. & Jansen, R.K. 2005. Everywhere but Antarctica: Using a supertree to understand the diversity and distribution of the Compositae. **Biologiske Skrifter** **55**: 343-374.
- Funk, V.A., Susanna, A., Stuessy, T.F., Robinson, H. 2009. Classification of Compositae. Pp. 171-189. In: Funk, V.A., Susanna, A., Stuessy, T.F. & Bayer, R. (Eds.) **Systematics, Evolution and Biogeography of the Compositae**. Vienna, IAPT.
- Hansen, H.V. 1992. Studies in the Calyceraceae with a discussion of its relationships to Compositae. **Nordic Journal of Botany** **12**: 63-75.
- Hellwig, F.H. 2007. Calyceraceae. Pp. 19-25. In: Kubitzki, K. (Ed.). **The families and genera of vascular plants. Flowering Plants, Eudicots, Asterales**, v. 8. Berlin, Heidelberg, Springer.
- Johansen, D.A. 1940. **Plant microtechnique**. New York, McGraw-Hill Book Co.
- Katinas, L. & Stuessy, T.F. 1997. Revision of *Doniophyton* (Compositae, Barnadesioideae). **Plant Systematics and Evolution** **206**: 33-45.
- Katinas, L., Pruski, J., Sancho, G. & Tellería, M.C. 2008. The subfamily Mutisioideae (Asteraceae). **Botanical Review** **74**: 469-716.
- Leins, P. & Erbar, C. 2006. Secondary pollen presentation syndromes of the Asterales: A phylogenetic perspective. **Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie** **127**: 83-103.
- Pontioli, A. 1963. Flora Argentina: Calyceraceae. **Revista del Museo de La Plata, Botánica** **9**: 175-214.
- Puff, C., Robbrecht, E., Buchner, R. & De Block, P. 1996. A survey of secondary pollen presentation in the Rubiaceae. **Opera Botanica Belgica** **7**: 369-402.
- Skvarla, J.J., Turner, B.L., Patel, V.C. & Tomb, A.S. 1977. Pollen morphology in the Compositae and in morphologically related families. Pp. 141-248. In: Heywood, V.H., Harborne, J.B. & Turner, B.L. (Eds.). **The biology and chemistry of the Compositae**, v. 1. London, Academic Press.
- Stuessy, T.F. & Urtubey, E. 2006. Phylogenetic implications of corolla morphology in subfamily Barnadesioideae (Asteraceae). **Flora** **201**: 340-352.

# LOS SABERES BOTÁNICOS OCULTOS EN LA PLURI/MULTI/INTERCULTURALIDAD (ZONAS URBANAS DE ARGENTINA)

**María Lelia Pochettino y Cecilia Eyssartier**

Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata, Laboratorio de Etnobotánica  
y Botánica Aplicada Calle 64 n° 3, La Plata, Argentina. CONICET.

[pochett@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:pochett@fcnym.unlp.edu.ar)

## Introducción

Varios términos se han utilizado para designar la coexistencia de diversas culturas en un mismo espacio: pluriculturalidad, multiculturalidad, interculturalidad, los cuales expresan un grado creciente de integración. En este trabajo, se utilizará el término pluriculturalidad en el sentido de describir una situación y no la relación entre culturas (Rodrigo Alsina 1999) si bien esas relaciones quedan incluidas en todos los casos planteados. De este modo, los contextos pluriculturales a los que alude el título son aquellos espacios y comunidades caracterizados por un modo de vida constituido a partir de la coexistencia de distintos modos de hacer, pensar y sentir, que se interrelacionan en grado diverso.

Si bien la gran mayoría de los modos de vida pueden caracterizarse como pluriculturales, en los últimos años este proceso se ha intensificado a partir del fenómeno conocido como globalización, resultado de una aceleración constante de los intercambios culturales, comunicacionales de una única economía mundial. Como resultado de estos procesos históricos, García Canclini (2001), al tratar las sociedades latinoamericanas, propone el concepto de “culturas híbridas” para estas creaciones pluriculturales, difusas, carentes de bordes nítidos y con zonas de matices diversos en constante emergencia, como resultado de procesos de contacto, préstamos y transformaciones culturales que se dan en estas sociedades.

Por otra parte, esta situación es particularmente observable en ámbitos urbanos. En distintos momentos, pero en forma más intensa que nunca durante el siglo XX y lo que va del XXI, las migraciones hacia los centros urbanos han dado como resultado conglomerados urbanos en los que conviven habitantes de larga data con características culturales comunes, junto con los habitantes recientes de diversas procedencias que se asientan en la ciudad y pasan a integrar este paisaje urbano y las áreas periféricas (García Canclini 1997; Mayol 2000).

Históricamente, los estudios etnobotánicos se han centrado en el conocimiento que poseen diversos grupos indígenas y/o campesinos con el fin de caracterizar un saber tradicional, muchas veces vulnerable y en riesgo por la rápida desaparición de las poblaciones que lo poseen y el entorno donde ese saber es puesto en juego. Sin embargo, desde hace más de 20 años, diversos trabajos han comenzado a ocuparse del conocimiento botánico presente en áreas urbanas con el fin de caracterizarlo (Pochettino *et al.* 2008, Hilgert *et al.* 2010, Pirondo *et al.* 2011, Hurrell *et al.* 2013). Se acepta que el conocimiento botánico urbano es un corpus complejo, que incluye saberes diversos que conviven e interactúan en el mismo marco pluricultural. Estos saberes pueden ser aquellos ligados a

tradiciones, tanto locales, como familiares, y de grupos de inmigrantes de distinto origen y tiempo de permanencia, pero también conocimientos no tradicionales, por ejemplo el CB de la ciencia, el enseñado y el divulgado por las distintas vías de comunicación: audiovisual, impresa, electrónica (Hurrell & Pochettino 2013).

Muchos de estos trabajos se han centrado también en la dinámica de este conocimiento y en los procesos relacionados. Desde esta perspectiva, el objetivo de este trabajo es reflexionar en torno a las diversas formas que adopta la transmisión del conocimiento botánico en ámbitos urbanos y pluriculturales. El enfoque particular que las autoras han tratado de impartir a esta contribución radica en el énfasis puesto en los sujetos que participan en estos procesos, más que en el objeto de conocimiento. Con ese fin se aplican conceptos tomados del campo de la pedagogía. La concepción en torno al sujeto que aprende ha ido cambiando a lo largo del tiempo. Según Sarria Materón (2005), un primer momento corresponde al sujeto concebido como aquel que conoce al mundo tal como este le es dado, razón por la cual la formación se reduce a la adquisición de conocimientos. La concepción de sujeto se transforma en la medida que se reconoce su interacción con el medio y se reconoce la importancia de la construcción de la realidad a partir de la experiencia. Finalmente, las corrientes críticas propositivistas reconocen la importancia de formar sujetos en los cuales la incorporación de conocimientos sea reflexiva y crítica, a partir de la re-significación de los conocimientos previos (Nassif 1982; Saviani 1983). Desde esta perspectiva aparece como un elemento fundamental (además de la relación sujeto-medio como objeto de conocimiento) la relación con el otro sujeto del conocimiento, el transmisor. Si se acepta que la relación del sujeto con el mundo no es una relación objetiva, cuando el transmisor habla acerca de su conocimiento, no solamente está hablando de un contenido, sino que está transmitiendo su propia actitud, la subjetividad propia, en torno a ese contenido.

## **Materiales y métodos**

### *Área y población de estudio*

Este trabajo se desarrolló en el Gran La Plata, área de 1162 km<sup>2</sup> y una población total de 793.365 habitantes (INDEC, 2012) que comprende los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada. Se ha constituido en torno a ciudad de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires, que se sitúa a 58 km al sudeste de la Capital Federal. Debido a la actividad económica y administrativa característica de una capital de provincia, transitan a diario más de un millón de personas. Su población se caracteriza por una gran cantidad de empleados administrativos, así como, por un elevado número de estudiantes y empleados de la Universidad estatal. En la periferia Este de la ciudad se encuentra una zona industrial con la presencia de un polo petroquímico de importancia e infraestructura portuaria, y por el sur y oeste se ubica una zona de horticultura (quintas y floricultores), generalmente desarrollada por inmigrantes japoneses y portugueses, bolivianos y migrantes internos (Pochettino 2003)

### *Metodología*

En esta contribución se presentan tres casos de estudio, que ejemplifican las distintas situaciones referidas a la transmisión del conocimiento botánico reconocidas en el área de estudio descripta. Estos casos son asimismo representativos de los resultados obtenidos a lo largo de 20 años a partir de la implementación de la metodología etnobotánica para la caracterización y dinámica de dicho conocimiento. Las estrategias metodológicas utilizadas fueron: - revisión de la bibliografía disponible sobre los usos tradicionales y las propiedades estudiadas de las plantas tratadas, - evaluación de la información de etiquetas y prospectos, así como las propiedades difundidas en Internet, - información obtenida en los trabajos de campo, a través de técnicas cuali y cuantitativas de observación,

observación participante, y realización de entrevistas abiertas y semiestructuradas en distintos sectores de la población (Martin, 1995; Albuquerque y Lucena, 2004), tanto a los responsables y expendedores de comercios especializados (conocidos como “dietéticas” y “herboristerías”) y mercados de inmigrantes, considerados a priori como informantes calificados (en el sentido de que dispensan materiales e información a la población), así como a consumidores en general. Asimismo, con motivo de una investigación sobre el conocimiento de plantas en niños de 10 a 12 años, se entrevistaron 86 niños de dos escuelas estatales, una privada y una institución de educación no formal en la ciudad de La Plata y se realizaron talleres haciendo gran hincapié en el aprendizaje a través de la experiencia.

Se tomaron muestras del material referido por los entrevistados, las cuales se identificaron botánicamente y se hallan depositadas en el Laboratorio de Etnobotánica y Botánica Aplicada de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.

## Resultados y discusión

En distintos trabajos de corte etnobotánico (Lozada *et al.* 2006; Eyssartier *et al.* 2008; Ladio & Lozada 2008; Hilgert *et al.* 2010) se ha asumido que la transmisión del conocimiento opera en tres sentidos fundamentales: - entre personas de diferentes generaciones dentro de una genealogía (transmisión vertical), - entre individuos de la misma generación (transmisión horizontal) y - entre líneas genealógicas (transmisión oblicua) (Cavalli-Sforza *et al.* 1982; Hewlett & Cavalli-Sforza 1986). Sin embargo, los estudios llevados a cabo en zonas urbanas han complejizado esta situación, ya que se introducen nuevos agentes como los medios de comunicación o los promotores y extensionistas (Pochettino & Hurrell 2013). Los casos tratados a continuación dan cuenta de este panorama y sus principales características se resumen en la Tabla 1.

### *Lo efímero: suplementos dietéticos en base a glucomananos*

Pochettino *et al.* (1993) reportaban hace más de 20 años el uso ampliamente difundido de los glucomananos en suplementos dietéticos para adelgazar. La materia prima más difundida en aquel momento eran la harina de “konjac” (*Amorphophallus konjac* K. Koch, Araceae) ya que contiene una elevada concentración de glucomananos y para obtenerlos es suficiente con someterla a purificación, a diferencia de otros vegetales donde son necesarios diversos procedimientos químicos de mayor dificultad, usualmente con bajos rendimientos. Los órganos subterráneos de esta especie son altamente amiláceos y se utilizan en la gastronomía de China, Japón y Corea, de donde es originaria la planta, como fuente de harina para fideos y otros productos amiláceos, así como de un gel empleado en mermeladas y otros dulces. Por esta propiedad gelificante está inscripto en el Código Alimentario Argentino como “goma konjac” (INS 425). Sin embargo, en nuestro medio no se registra ninguno de los usos alimentarios descriptos, sino que circuló con los fines de adelgazamiento ya mencionados.

Al igual que otros polisacáridos, los glucomananos se hinchan en contacto con el agua, y se considera que pueden aumentar su volumen original entre 60 y 200 veces su volumen original. Este hecho provocó la comercialización del producto como suplemento dietético, bajo la presunción de que el incremento de su volumen en el estómago produciría una sensación de saciedad. En consecuencia, diferentes productos elaborados con la harina de konjac eran promocionados con fines de adelgazamiento. Las distintas marcas solían incluir el sufijo “manan” en sus nombres y etiquetas (Glucomanan, Bodymanan) como indicativo de la materia prima.

En la actualidad no se ha registrado su presencia en los distintos comercios que expenden suplementos dietéticos para adelgazar, en concordancia con lo planteado por Arenas (2009) quien

**Tabla 1.** Tres escenarios de transmisión de conocimientos en zonas urbanas.

Objeto de conocimiento	Sujeto cognoscente	Sujeto transmisor o agente	Tipo de transmisión	Contexto de transmisión	Duración en el tiempo
Suplementos dietéticos elaborados con glucomananos	Población en general	Medios de comunicación masiva Expendedores	Transversal/ Oblicua/ radial	Publicidad, recomendaciones	Efímera
Quinoa	Población en general	Medios de comunicación masiva Expendedores Especialistas en nutrición Proyectos de desarrollo	Vertical/ Transversal/ Oblicua/ radial	Publicidad, recomendaciones Práctica compartida	Sostenible
Alfalfa	Generación joven (hijo)	Generación anterior (padre)	Vertical	Práctica compartida	Sostenible
	Distintas generaciones	Generación joven	Radial Vertical ascendente	Experiencia propia	


ha detectado dos períodos distintos en los últimos 20 años, uno caracterizado por la circulación y preferencia de productos conteniendo gluco y galactomananos, algas como *Spirulina* y *Fucus*, y otras especies, por ejemplo *Centella asiática* y *Garcinia cambogia*, y otro más reciente caracterizado por especies como *Gentianella nitida*, *G. graminea* y *Lepidium meyenii*, entre otras. Se podría agregar un tercer momento, de absoluta actualidad caracterizado por el consumo del café verde. Cada uno de estos momentos supone un desplazamiento de los productos propios del momento anterior, a pesar de que puedan seguir elaborándose como los glucomananos, los cuales son completamente desconocidos por los consumidores.

Este caso constituye un claro ejemplo de situaciones de aparición de elementos vegetales en forma de productos que no logran instalarse en la comunidad. En este caso los agentes son los medios de comunicación, y los expendedores dan respuesta a la demanda del público a través de su comercialización. Las autoras proponen el término de transmisión radial (desde un punto en muchas direcciones a modo de radios de un círculo) para este tipo. No obstante, no existen prácticas vinculadas al consumo, tales como selección entre diversos productos, preferencias fundamentadas en la experiencia, más allá de la imposibilidad de elaborar el producto o modificar su receta. La falta de incorporación de estos productos al conocimiento botánico hace que se tornen invisibles para el público cuando desaparecen de los medios, aunque se los siga fabricando.

### *Saberes de ayer y de hoy, también del futuro? La quinoa*

La “quinoa” (*Chenopodium quinoa* Willd., Amaranthaceae) se cultiva a lo largo de los Andes, desde los 8° lat. N hasta los 30° lat. S, en diversas diferentes condiciones de humedad, topografía y altura, incluso hasta los 4000 m de altitud. Si bien en la alimentación humana pueden utilizarse distintas partes de la planta tales como las hojas hasta el inicio de la formación de la inflorescencia, y





las panículas tiernas, sobre todo se consumen los granos por su versatilidad y potencial nutricional, destacando su composición proteica tanto en cantidad como calidad. En la zona andina se consumían el grano entero así como la harina resultante de su molienda, cruda o tostada, preparados en múltiples formas: sopas, salsas, tamales, guisos, pasteles, postres y dulces, bebidas refrescantes y fermentadas, frías y calientes, así como panes y galletas conocidas como “kispñas”. La difusión a nivel mundial comienza a producirse en el último tercio del siglo XX. Prueba de ello es el interés de la NASA por este “nuevo” cultivo, evaluado como alimento para misiones espaciales de larga duración (Schlick & Bubenheim 1993).

En el área de estudio la quinoa aparece a comienzo de los años 2000, en grano y también en forma de barras de cereales (Pochettino 2003). A lo largo del tiempo transcurrido las formas de presentación se han diversificado, como por ejemplo la aparición de la harina de quinoa para cocinar o utilizada en la confección de galletas y otras golosinas. Una de las vías de ingreso que han sido claves en esta difusión han sido los mercados de inmigrantes y la ampliación del uso ha sido el resultado de la publicidad en los medios de comunicación, pero también de la interacción entre individuos y la experimentación personal a través de proyectos de extensión universitaria o de desarrollo local. Es así que aparecieron nuevas preparaciones según los saberes previos y tradiciones de los actores involucrados (como por ejemplo uso de la quinoa en reemplazo de otros alimentos como arroz o trigo), o por simple voluntad innovadora, y estas acciones resultaron en la apropiación de este grano por distintos sectores de la población y la transmisión efectiva de los conocimientos asociados.

### *Saberes para siempre*

El proceso de conocimiento se desarrolla desde temprana edad en diversos contextos ecológicos y socio-culturales, donde el ambiente familiar y escolar ejerce una gran influencia. Como propone Dewey (1896), “desde los primeros años de vida dependemos de otros, los observamos, nos comunicamos y aprendemos de ellos (a través de procesos como la imitación), modelando así nuestra percepción y comprensión del ambiente”. Desde pequeños, los niños acompañan a sus padres a desarrollar diversas tareas, observándolos e imitándolos, forjando así el conocimiento a partir de su propia experiencia. Tal es el caso particular de un niño de 5to grado que asiste a la Escuela n° 56, en la ciudad de La Plata. Particularmente, este niño presenta dificultades en la lecto-escritura y rara vez manifiesta interés en las actividades desarrolladas en clase, observándose una escasa participación. En uno de los talleres descritos, se estaba desarrollando el tema de la germinación a partir de diversas semillas comestibles. La docente a cargo del taller tomó un frasco de semillas y preguntó a la clase si alguien sabía de qué semillas se trataba. Como ninguno de los niños supo dar una respuesta certera, se trató de conducirlos a través de “pistas” relacionadas con el uso de esta semilla; es decir, con indicios que la involucraban en una práctica: “a esta planta la comen los caballos, se siembran en el campo y se arman los fardos...”. Este niño, que en general se mantenía al margen y silencioso, levantó la mano y exclamando dijo: “¡Es alfalfa!” (*Medicago sativa* L., Fabaceae), acertando en la respuesta. Durante una posterior charla, la maestra comentó que ese conocimiento lo había tomado de su hogar, ya que su padre tenía caballos y él lo acompañaba en las tareas del establo. En este caso particular, la interacción entre el padre y el niño a través de una práctica concreta facilitó, en primera instancia, una transmisión de tipo vertical. Durante el contexto escolar, este tipo de transmisión de conocimiento fue de carácter radial, ya que no sólo los niños de su misma generación fueron receptores de este conocimiento, sino también la maestra y la docente a cargo del taller. Pero, al mismo tiempo, es probable que los resultados del taller regresaran al ámbito doméstico, reformulando los saberes originarios, y dando lugar a la transmisión vertical de tipo ascendente, muy común en diversas instancias de la vida cotidiana, como por ejemplo los aspectos tecnológicos, informática entre otros. Es importante resaltar cómo la experiencia a través de la práctica conjunta permitió la apro-

piación de un conocimiento capaz de ser evocado, compartido y transmitido en diferentes situaciones de enseñanza-aprendizaje.

## Conclusiones

Como se planteó en la introducción, la pluriculturalidad es un fenómeno global. Sin embargo, los contextos urbanos son particularmente aptos para la observación y caracterización de distintos tipos de transmisión, los actores involucrados y los resultados obtenidos de estos procesos. Esto se debe a la multiplicidad de actores que entran en contacto simultáneo y frecuente, así como a la disponibilidad de distintos productos en forma inmediata a su descubrimiento. En los ejemplos planteados se ven distintas situaciones. Los glucomananos representan un uso industrial y novedoso de plantas de antigua tradición de uso en Lejano Oriente, tradición que no es recuperada en nuestro medio, a diferencia de lo que ocurre con la quinoa donde los saberes tradicionales constituyen el disparador para su incorporación al conocimiento botánico urbano. El caso de la alfalfa representa la introducción de lo rural en lo urbano, en este caso la cría de equinos de competición en las proximidades de la ciudad.

Se entiende aquí la transmisión como trabajo en el sentido que este término implica proceso, camino, no hecho consumado sino lo que se lleva a cabo, y en ese sentido el trabajo de transmisión implica “ir más allá de todo contenido para atender a una experiencia” (Frigerio 2004: 19). La condición dinámica del proceso de conocer (también podría decirse: la condición dinámica del conocimiento) está íntimamente ligada con la experiencia, en una estrecha interacción con las circunstancias sociales y ecológicas. Según Toledo y Barreras-Bassols (2008) el conocimiento de una persona es la síntesis de su experiencia acumulada a lo largo de su historia y transmitida a través de generaciones, de su experiencia compartida y su experiencia personal, enriquecida por situaciones diversas. Asimismo, afirman que es importante considerar las actividades y los comportamientos diarios, concretos y prácticos para comprender los sistemas cognitivos.

Por otra parte, la transmisión se diferencia de la comunicación en que implica una temporalidad irreversible y en lugares disimétricos (Cornu, 2004). Es decir, que la transmisión requiere de un espacio temporal entre quienes transmiten, en tanto que la comunicación, opera sobre el presente y la simultaneidad, prescinde del pasado mediato o remoto. Esto no significa que no haya transmisión en un tiempo corto o entre miembros de la misma generación, como la transmisión radial aquí propuesta, incluso vertical en sentido ascendente, pero ese período que media entre la incorporación de un saber y su pasaje, implica una criba que aquilata y selecciona los contenidos que serán finalmente transmitidos -tal el ejemplo de la alfalfa-, mientras que en la comunicación, la actualización de los mensajes es un elemento prioritario, como lo atestigua el caso de los suplementos dietéticos para adelgazar.

Esta idea de transmisión como herencia cultural coincide con el planteo de Dicker (2004) quien señala que la transmisión se encuentra siempre “entre una herencia y la habilitación para transformarla”, constituye el transporte en el tiempo de un esfuerzo de interpretación del pasado, de hacer que devenga en otra cosa. En este sentido, el ejemplo de la quinoa resulta esclarecedor, la práctica individual y grupal, más allá del agente transmisor, instala este alimento como propio y el conocimiento se sostiene en el tiempo y se enriquece con esas experiencias innovadoras.

## Agradecimientos

Les debemos este trabajo a todos quienes tan generosamente compartieron con nosotros sus saberes y experiencias. Esta investigación se realizó con el apoyo económico de la Universidad Nacional de La Plata y CONICET.

## Bibliografía

- Albuquerque, U.P. & Lucena, R.F. 2004. **Métodos e técnicas na pesquisa etnobotânica**. Recife, Livro Rápido/ NUPEEA.
- Arenas, P.M. 2009. Algas empleadas en la elaboración de suplementos dietéticos: abordaje etnobotánico en algunas áreas urbanas de la Argentina. Pp. In: Arenas, P.M. **Etnoficología aplicada**. San Salvador de Jujuy, Edición CYTED.
- Cavalli-Sforza, L.L.; Feldman, M.W.; Chen K.H. & Dornbusch, S.M. 1982. Theory and observation in cultural transmission. **Science** **218 (4567)**: 19-27.
- Cornu, L. 2004. Transmisión e institución del sujeto. Transmisión, simbólica, sucesión, finitud. Pp. 27-38. In: Frigerio, G. & Diker, G. (Eds.). **La transmisión en las sociedades, las instituciones y los sujetos. Un concepto de la educación en acción**. Buenos Aires, Novedades Educativas.
- Dewey, J. 1896. The reflex arc concept in psychology. **Psychological Review** **3**: 357-370. Disponible en: <http://psychclassics.yorku.ca/Dewey/reflex.htm>. Citado 29 de abril de 2014.
- Diker, G. 2004. Y el debate continúa. ¿Por qué hablar de transmisión?. Pp. 223-232. In: Frigerio, G. & Diker, G. (Eds.). **La transmisión en las sociedades, las instituciones y los sujetos. Un concepto de la educación en acción**. Buenos Aires, Novedades Educativas.
- Eyssartier, C.; Ladio, A.H. & Lozada, M. 2008. Cultural transmission of traditional knowledge in two populations of North-western Patagonia. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine** **4**: 25.
- Frigerio, G. 2004. Los avatares de la transmisión. Pp. 11-26. In: Frigerio, G. & Diker, G. (Eds.). **La transmisión en las sociedades, las instituciones y los sujetos. Un concepto de la educación en acción**. Buenos Aires, Novedades Educativas.
- García Canclini, N. 2001. **Culturas híbridas: estrategias para entrar y salir de la modernidad**. Buenos Aires, Paidós.
- García Canclini, N. 1997. **Imaginario urbano**. Buenos Aires, Eudeba.
- Hewlett, B.S. & Cavalli-Sforza, L.L. 1986. Cultural transmission among Aka Pygmies. **American Anthropologist** **88 (4)**: 922-934.
- Hilgert, N.I.; Higuera, M.L. & Kristensen, M.J. 2010. La medicina herbolaria en el contexto urbano. Estudio de caso en un barrio de la ciudad de Tandil, Argentina. **Boletín latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas** **9**: 177 - 190.
- Hurrell, J.A. & Pochettino, M.L. 2013. Urban Ethnobotany: theoretical and methodological contributions. Pp. 293-309. En: Albuquerque, U.P.; Cunha, L. V. F. C.; de Lucena R. F. P. & Alves, R. R. N. (Eds.). **Methods and Techniques in Ethnobiology and Ethnoecology**. Nueva York, Springer, pp. 293-309.
- Hurrell, J.A.; Pochettino, M.L.; Puentes, J. P. & Arenas, P. M. 2013. Del marco tradicional al escenario urbano: Plantas ancestrales devenidas suplementos dietéticos en la conurbación Buenos Aires-La Plata, Argentina. **Boletín latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas** **12**: 499-515.
- INDEC. 2012. Instituto Nacional de Estadística y Censos. República Argentina. Censo 2010. Disponible en: <http://www.censo2010.indec.gov.ar>. Citado 15 de abril de 2013.
- Ladio, A.H. & Lozada, M. 2008. Medicinal plant knowledge in rural communities of Northwestern Patagonia, Argentina. A resilient practice beyond acculturation. Pp. 39-53. In: Albuquerque, U.P. (Ed.). **Current topics in ethnobotany**. Kerala, Research Signpost.
- Lozada, M.; Ladio, A.H. & Weigandt, M. 2006. Cultural transmission of ethnobotanical knowledge in a rural community of northwestern Patagonia. **Economic Botany** **60(4)**: 374-385.
- Martin, G. 1995. **Ethnobotany. A methods manual**. Londres, Chapman & Hall.
- Mayol, H.M. 2000. Multiculturalidad y diversidad cultural. **Anuario del Departamento de Ciencias de la Comunicación, Universidad Nacional de Rosario** **5**: 137-150.
- Nassif, R. 1982. **El sistema educativo en América Latina**. Buenos Aires, Kapelusz.

- Pirondo, A.; Coulleri, J.P.; Keller, H. & Ferrucci, M.S. 2011. Influencia de factores externos sobre la comercialización de plantas medicinales en un medio urbano: el caso de los vendedores criollos e indígenas en Corrientes Argentina. **Boletín latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas 10**: 553-569,
- Pochettino, M.L. 2003. Comer o curarse: qué son las dietéticas de centros urbanos de Argentina. **Proceedings II International Symposium of Ethnobotany Disciplines**, La Paz, Bolivia, Septiembre 2003 (en CD)
- Pochettino, M.L.; Aguilar, M.V. & Cortella, A.R. 1993. Análisis microscópico de 'suplementos dietéticos' elaborados con glucomananos de *Amorphophallus konjac* K.Koch. **Acta Farmaceutica Bonaerense 12 (1)**: 15-19
- Pochettino, M.L.; Martínez, M.R.; Itten, B. & Zucaro, M. 1997. Las plantas medicinales como recurso terapéutico en una población urbana: estudio etnobotánico en Hernández (Pdo. La Plata, Prov. Buenos Aires, Argentina). **Parodiána 10 (1-2)**: 141-152
- Rodrigo Alsina, M.. 1999. **La comunicación intercultural**. Barcelona, Anthropos.
- Sarria Materón, M.L. 2005. El sujeto, sus nociones y lugar en la formación de docentes. **Educere 9 (31)**: 609-616.
- Saviani, D. 1983. Las teorías de la educación y el problema de la marginalidad en América Latina. **Revista Argentina de Educación 2 (3)**: 7-30.
- Schlick, G. & Bubenheim, D. 1993. Quinoa: an emerging "new" crop with potential for CELSS. **NASA Technical Papers 3442** [online]. Disponible en: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov>. Citado 15 de marzo de 2014.
- Toledo, V. & Barreras-Bassols, N. 2008. **La Memoria Biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales**. Barcelona, Icaria Editorial.

# INVESTIGACIÓN-ACCIÓN Y EL MONITOREO PARTICIPATIVO COMO HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN Y CONSERVACIÓN COMUNITARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL: LA EXPERIENCIA DE COMBIOSERVE EN MÉXICO

**Luciana Porter-Bolland<sup>1</sup>, Federico Escobar Sarria<sup>1</sup>,  
Emma I. Villaseñor<sup>1</sup>, Matthias Rös<sup>1</sup>, Albert M. Chan Dzul<sup>2</sup>,  
Sara Oliveros López<sup>2</sup> e Alberto López Díaz<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz, México; <sup>2</sup>Consejo Regional Indígena y Popular de Xpujil S. C., Xpujil, Calakmul, Campeche, México.

[luciana.porter@inecol.mx](mailto:luciana.porter@inecol.mx)

## Introducción

En este trabajo analizamos la importancia del monitoreo participativo para el manejo y conservación de los recursos naturales en el contexto de áreas naturales protegidas a partir de la experiencia del consorcio COMBIOSERVE ([www.combioserve.org](http://www.combioserve.org)). Ejemplificamos con el estudio que se lleva a cabo en dos comunidades del municipio de Calakmul, Campeche, México. Esta zona es parte de la Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC), la cual representa junto con otras reservas estatales, el área forestal protegida más extensa de México e integrada al Corredor Biológico Mesoamericano (Boege 1995).

La RBC, como muchas otras reservas en México y el mundo, enfrenta el reto de ser un área con influencia de población humana. Se considera que por lo menos 22.6% de su área cuenta con tenencia de la tierra comunal o privada y que la población que la habita o rodea supera los 26,000 habitantes (Vester *et al.* 2007). Esta población, en su mayoría dedicada a la producción primaria, enfrenta la necesidad de desarrollar estrategias de vida en concordancia con los objetivos de conservación asignados a la zona. Por esta razón, se deben considerar los intereses de la población local con los retos y limitantes que esto implica, con miras a generar las capacidades locales de gestión para una conservación y manejo efectivo de los recursos naturales (Ericson 2006, Borrini-Feyerabend 2007).

En este contexto, el consorcio COMBIOSERVE ha desarrollado actividades de monitoreo participativo en dos comunidades circundantes a la RBC. Este consorcio está integrado por investigadores de una institución académica y representantes de una organización civil local, quienes desde el 2012 han iniciado colaboración efectiva para analizar diferentes aspectos relacionados con la conservación comunitaria. Uno de los objetivos de esta alianza, fue la concepción y desarrollo de metodologías y estrategias de investigación conjunta. Con esta, se formaron grupos de personas de las comunidades

motivadas para adquirir capacidades como investigadores comunitarios y con ello generar información sobre temas de investigación relacionada con problemas locales. El reto inicial fue el del desarrollo y adaptación de una metodología de “monitoreo de biodiversidad” a un monitoreo participativo de temas relacionados con el manejo de los recursos naturales según los intereses de los participantes de las comunidades. A continuación se describe la concepción metodológica, su relevancia en el contexto de conservación y manejo de los recursos naturales, y algunos de los retos con los que nos hemos enfrentado para su implementación.

## El monitoreo participativo para la conservación comunitaria

El monitoreo es el proceso por el cual se genera información sistemática de los sistemas biológicos (o sociales) para detectar cambios espacio-temporales con el objetivo de tomar decisiones oportunas y sustentadas en datos confiables para el manejo de los recursos naturales. Esta información es útil para evaluar impactos de las prácticas de manejo, establecer prioridades y evaluar esfuerzos de los planes de conservación, además que sirve para dar elementos en la toma de decisiones (Danielsen *et al.* 2000). Lo anterior se hace prioritario en el contexto actual en el que los modelos de producción a nivel mundial y regional derivan en cambios acelerados que afectan la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, y las formas de su aprovechamiento. Para lograr la conservación de la biodiversidad, el monitoreo se considera una herramienta útil para entender y enfrentar dichos cambios. De hecho, a nivel internacional, tratados como el Convenio de Diversidad Biológica (DBD) indican a las partes la obligación de desarrollar actividades de monitoreo de la biodiversidad como parte de los esfuerzos de conservación (artículo 7, DBC 1992).

Dentro de la conservación comunitaria, que se refiere a la participación activa de la población local en la conservación, ya sea a partir de iniciativas propias o en respuesta a presiones externas como es el caso de poblaciones que habitan áreas protegidas, el monitoreo se convierte en una herramienta estratégica para incrementar y fortalecer las capacidades locales para el manejo de los recursos naturales. Existen múltiples ejemplos de iniciativas de monitoreo participativo que han derivado en procesos de aprendizaje ambiental para el manejo (i.e., Boissiere *et al.* 2013, Izurieta *et al.* 2011, Abbot y Guijt 1998). De hecho, cada vez más se enfatiza sobre la importancia del manejo comunitario de los recursos naturales a partir de esquemas participativos para el cuidado ambiental, en donde la población local debe integrar sus necesidades y prioridades de conservación y manejo. Sin embargo, esto representa un reto, debido a las condiciones de marginación y exclusión de las comunidades en la toma de decisiones (Akbulu y Soyly 2012). Partimos de que una participación efectiva solo puede darse si los miembros de la comunidad son autónomos en sus decisiones y desarrollan sus capacidades para valorar sus acciones y potenciales escenarios de vida.

Para esto, el monitoreo participativo tiene que darse mediante procesos en los que se generen capacidades para que los mismos actores locales aborden inquietudes relacionadas con su entorno natural y su interacción con el mismo. Es con esta perspectiva que la investigación-acción participativa dirigida hacia el aprendizaje ambiental para el manejo de los recursos naturales se plantea como una propuesta (Ballard and Belsky, 2010). La propuesta va más allá de generar información confiable a partir de la capacitación de la población local para la toma de datos mediante técnicas estandarizadas de monitoreo de biodiversidad (Oldekop *et al.* 2011). Se trata de generar procesos de investigación en los que las preguntas abordadas sean originadas por los mismos actores a partir de sus inquietudes sobre el manejo de los recursos naturales, incluyendo sus iniciativas de conservación y producción. En el marco de la investigación acción, se trata de propiciar procesos de indagación colaborativa de los fenómenos, o investigación conjunta, para el aprendizaje, con el objetivo de buscar la acción y el cambio sustentado en la comunicación, la negociación, la observación, la reflexión y el

análisis entre científicos (académicos) y no científicos (comunidades, autoridades y gestores; Ballard and Belsky 2010). Nuestro marco metodológico, entonces, se basó en la investigación conjunta, la cual se describe a continuación.

## La investigación conjunta

La metodología empleada se basa en el supuesto de que la investigación conjunta puede integrar conocimientos y quehaceres locales con los científicos, y que la información que se genere a partir de esta experiencia pueda traducirse en estrategias para el manejo y conservación de la biodiversidad. Para ello, en este proyecto retomamos el concepto de co-manejo como marco lógico de trabajo y lo hemos nombrado "investigación conjunta". En ésta, se espera que las herramientas metodológicas de la Investigación-acción participativa, contribuyan a incrementar el conocimiento básico de los recursos naturales y fomenten el desarrollo e implementación de prácticas de manejo, derivadas de investigaciones robustas, basadas en evidencia generada en el contexto local y viables en la práctica, que además respondan a intereses de todos los actores involucrados (Feinsinger et al 2010; Brechin et al 2002). Esta metodología parte de que el método científico basado en el ciclo de indagación (es decir, pregunta, acción, reflexión, nuevas preguntas), es un proceso viable que puede ser llevado a cabo por diferentes grupos sociales, sin que se tenga necesariamente una formación científica. Este proceso resulta en un acercamiento que deriva en investigación de primera mano, útil para resolver problemas.

La investigación conjunta se lleva a cabo partiendo del reconocimiento de las capacidades mismas de los individuos o grupos. En el caso de la investigación conjunta aquí propuesta, el grupo incluye tanto miembros de la comunidad que se convierten en investigadores comunitarios, como investigadores externos (académicos y gestores). Se hace énfasis en que el conocimiento local y las prácticas culturales de los actores locales se basan en la observación a partir de las actividades cíclicas relacionadas con el quehacer productivo, por lo que la experimentación y observación es parte de la práctica común y cotidiana de las personas. Además buscamos el desarrollo de habilidades que aporten a consolidar la organización comunitaria, así como una actitud crítica ante proyectos que llegan a la comunidad (Berkowitz et al 2005). La formación de investigadores comunitarios debe estar dirigida a potenciar estas cualidades, considerando y dando valor al conocimiento local, de tal forma que se pueda integrar herramientas y conocimientos de los actores externos para generar formas novedosas de conocer y resolver las preguntas planteadas.

La investigación conjunta sigue el ciclo de indagación en todas sus etapas, incluyendo la participación de la población local desde la definición de los temas o preguntas y escalas de estudio, la colecta de información y el monitoreo, y el análisis hasta la contextualización de los resultados. Las etapas consideradas incluyen: 1) La pregunta: identificar y abordar preguntas relevantes en el contexto de la conservación y manejo de los recursos naturales locales y su problemática, 2) La acción: seleccionar las herramientas y los métodos adecuados para reunir la información necesaria y responder a estas preguntas, 3) La aplicación: Analizar la información y reflexionar sobre sus implicaciones para entender cómo y de qué manera los resultados pueden ayudar a mejorar o cambiar las prácticas de manejo, y, de nuevo, 1) La pregunta: identificar las preguntas nuevas que surgen de la experiencia de aprendizaje (Figura 1).

## El monitoreo participativo en Calakmul


El proceso original planteado para desarrollar monitoreo participativo sobre biodiversidad en las comunidades de Calakmul preveía adaptar metodologías de inventarios biológicos (Noss 1990)



**Figura 1.** Ciclo de indagación, representando un proceso cíclico en el que la Pregunta (contextualizada en una problemática determinada) se aborda para mediante la Acción (generando información para responder a la pregunta), se propicia una reflexión con la intención de derivar en un aprendizaje: Aplicación. Este aprendizaje deriva en el uso de la información para tomar decisiones con un monitoreo que resulta en nuevos cuestionamientos: Preguntas nuevas.

usando el modelo de Evaluación Rápida de la Biodiversidad (en inglés por Rapid Biodiversity Assessment; IUCN 2008) para una Evaluación Comunitaria Rápida de Biodiversidad. Considerando que la descripción y cuantificación de los diferentes componentes de la biodiversidad, de poblaciones a ecosistemas, es compleja (Stork *et al.* 1997), nos planteamos definir los temas y escalas de estudio en conjunto con los investigadores comunitarios. Lo anterior a partir de la formulación de preguntas sobre cuáles son los aspectos de la biodiversidad que deben ser medidos y a que escala con mayor prioridad. Sin embargo, el aprendizaje generado a partir del desarrollo del proceso de investigación conjunta requirió modificar el enfoque y dejar los inventarios biológicos como una de las tantas posibilidades dentro de la oferta de posibles acercamientos metodológicos. De hecho, el concepto de biodiversidad en el contexto del monitoreo participativo puede ser difícil de definir (Boissière *et al.* 2013) y no necesariamente es parte de la relación de la población local con su entorno. Haenn (1999), en este sentido explica que diferencias epistemológicas en los conceptos que definen la ecología local (i.e., el concepto de biodiversidad) son parte de las tensiones que se viven localmente en torno a la conservación. Lo anterior debe ser considerado en la construcción de la investigación conjunta ya que ésta debe partir de un entendimiento común. Así, la priorización de preguntas o temas de investigación que derivaron en procesos de investigación/monitoreo, se abordó a partir del concepto del territorio y su manejo. Para ello utilizamos como punto de partida el mapeo participativo como herramienta de análisis del territorio en torno a los asuntos más apremiantes en las prácticas de manejo. El mapeo participativo se hizo mediante mapas mentales donde los integrantes de las comunidades





definieron elementos en el paisaje y su uso, lo cual permitió la identificación de problemas ambientales y productivos. A partir de este ejercicio se detonaron discusiones en grupo y se identificó un sin número de posibles temas de estudio a partir de preguntas concretas, de los que posteriormente se seleccionaron algunos como base para iniciar el proceso de investigación conjunta.

Los grupos formados respondieron a la heterogeneidad que caracteriza la región (integrada por comunidades de migrantes de diferentes estados del país y una de ellas es población que fue reubicada tras la zonificación de la RBC reuniendo pobladores de cuatro comunidades diferentes), lo que incluyó desde grupos de sólo mujeres u hombres, grupos conformados por una sola familia, grupos conformados por personas de la misma etnia, hasta grupos más heterogéneos incluyendo grupos mixtos (hombres y mujeres), y grupos conformados por personas de diferente etnia. La conformación de grupos y la definición de temas de investigación se dio a partir del ejercicio de mapeo comunitario participativo, que dio como resultado una variedad de temas de interés (Cuadro 1), que posteriormente se priorizaron para elegir uno de ellos por cada grupo conformado por personas dispuestas (de manera voluntaria) a continuar el proceso planteado.

Las áreas identificadas como unidades de manejo prioritarias incluyeron los “trabajaderos” o zonas en las que se llevan a cabo actividades agrícolas y pecuarias, normalmente áreas con suelos de drenaje bueno a moderado. Las zonas de vegetación madura o secundaria, incluyendo áreas de conservación como la zona núcleo de la RBC (ya que las comunidades colindan con la misma), áreas de uso común destinadas a la conservación o parcelas propias conservadas. También se incluyeron unidades o tipos de vegetación específicos que no pueden ser destinados a actividades productivas, como es la zona localmente denominada “el desierto” (un área con suelo calcáreo en la que predomina el yeso lo que limita el crecimiento de plantas, además de que contiene fuentes de agua intermitentes que favorecen la visita de mamíferos y aves), y zonas de bajaríos, que son zonas inundables con vegetación de selva baja. En las zonas urbanas, otras áreas priorizadas fueron los traspatios, en los que se desarrollan diversas actividades agroforestales o para el manejo de animales domésticos.

Los temas identificados por los investigadores comunitarios responden a necesidades que actualmente ocupan la preocupación de los participantes y que implican la relación de las comunidades con su entorno. Reflejan algunas de las problemáticas o asuntos que determinan el contexto de conservación en la región y son de amplia relevancia ecológica. Esto incluye temas prioritarios que reflejan conflictos locales, así como potencialidades que deberían ser foco de esfuerzos de manejo para fortalecer la conservación de la biodiversidad dentro y fuera de las áreas de conservación. Esto incluye: 1) una fuerte dependencia de la población local por actividades agropecuarias y el uso creciente y mal informado de agroquímicos, 2) vertebrados e invertebrados que afectan los cultivos, 3) demanda externa de recursos forestales y no forestales que llevan a la venta, muchas veces de forma irregular, de árboles para fuste o palizada o la venta de orquídeas y otros recursos no maderables. Por otro lado, también refleja los grandes potenciales que presenta la zona para mejorar las estrategias de vida locales y fortalecer los esfuerzos de conservación, como: 1) el interés de la población local por hacer más eficientes los sistemas agrícolas y depender menos de los agroquímicos, 2) el interés por aprender a controlar los animales dañeros, 3) el potencial que existe en la vegetación nativa para la propagación de especies útiles con valor comercial y cultural fortaleciendo sistemas agroforestales, fomentando el enriquecimiento de acahuals y propiciando el aprovechamiento específico de ciertas poblaciones, i.e., el copal –*Protium copal* Schlttdl. & Cham. Engl. y, 4) se hizo evidente la necesidad que existe por parte de la población de hacer útiles los espacios de conservación para obtener ganancias por su protección mediante ecoturismo o por la venta de sus servicios. Los temas que fueron seleccionados se relacionaron con los sistemas agrícolas (plagas y fertilidad del suelo), aprovechamiento de ciertas especies (orquídeas y propagación de árboles útiles –aunque este último finalmente se desintegró como equipo), áreas potenciales para obtener ingresos por su conservación (ecoturismo y carbono) y el tema que seleccionaron los niños de una de las comunidades para estu-

**Cuadro 1.** Algunos de los temas identificados a partir del análisis del territorio en dos comunidades de Calakmul, Campeche. Las celdas sombreadas son los temas que finalmente fueron seleccionados.

Áreas identificadas	Tema de investigación	Problemática específica
Trabajaderos: zonas agrícolas	Animales dañeros: mamíferos y aves	La incidencia de mamíferos que afectan los cultivos, incluyendo mamíferos grandes como el tapir, puerco de monte, entre otros, y el problema de aves dañeras, particularmente loros. Los animales dañeros son considerados un problema que pueden afectar los cultivos o la germinación de semillas, disminuyendo el rendimiento de los cultivos.
Trabajaderos: zonas agrícolas	Animales dañeros: insectos y otras plagas y enfermedades	Uno de los problemas más generalizados fue la incidencia de plagas y enfermedades que afectan las cosechas, muchos de ellos no identificados. Algunos de los más mencionados fueron los insectos, gusanos y caracoles. Además de problemas de hongos u otras afectaciones. Se tiene la necesidad de aprender a controlarlos sin depender tanto del uso de agroquímicos.
Trabajaderos: zonas agrícolas	Fertilidad del suelo	La necesidad de mejorar la fertilidad de suelos para mejorar rendimientos y no depender tanto de la rotación de parcelas y el uso fertilizantes.
Trabajaderos: zonas agrícolas	Animales dañeros: Incidencia de murciélagos	La incidencia del derriengue en el ganado de la zona, causado por mordeduras de murciélago lo que lleva a considerar a los murciélagos en general como un problema.
Trabajaderos: zonas agrícolas	Animales dañeros: problemas con mamíferos	La afectación de animales por ataques de mamíferos grandes como el jaguar
Áreas de vegetación secundaria o madura	Áreas de reforestación: incidencia de plagas y enfermedades	El problema del gusano barrenador en cedros (lo que incluye también parcelas urbanas).
Áreas de vegetación secundaria o madura	Propagación de especies comerciales	La inquietud de propagar especies que son potencialmente comerciales como árboles maderables (para fuste o palizada) que vienen a comprar de fuera y que ellos pudieran sembrar mediante el enriquecimiento de acahuales.
Áreas de vegetación secundaria o madura	Propagación de árboles frutales	En el monte existen árboles frutales, como es el zapote mamey, que pudieran ser aprovechados para sembrar en parcelas agroforestales mediante técnicas específicas, como son los injertos.
Áreas de vegetación secundaria o madura	Aprovechamiento del árbol del copal	Existe el interés por conocer el aprovechamiento y propagación del árbol del copal por su valor comercial y cultural.
Áreas de vegetación secundaria o madura	Inventarios y técnicas de propagación de orquídeas	Las orquídeas son plantas vistosas para las que existe un mercado ilegal en la zona, así como la costumbre de llevarlas a vender en los mercados municipales por lo que se tiene el interés de establecer un vivero y regularizar su venta.
Áreas de vegetación secundaria o madura	Incursionar en el tema del carbono	Dado el interés que la población tiene por recibir incentivos para manejar sus áreas de conservación, existe el interés por conocer acerca de los mercados de carbono.

*Continúa*

**Cuadro 1.** Continuación

Áreas identificadas	Tema de investigación	Problemática específica
Áreas de vegetación secundaria o madura	Estudiar la flora y fauna de “el desierto”	El desierto es un ecosistema con poco uso más que para su conservación, pero la población ve el potencial de desarrollar una iniciativa de ecoturismo por sus atractivos naturales.
Traspatios	Plagas en las hortalizas	Se hizo hincapié en el problema de plagas en las hortalizas que son cultivadas en el traspatio sobre todo durante cierta época del año (canícula) y existe el interés para aprender a controlarlas.
Traspatios	Manejo de animales domésticos	Se determinó como tema prioritario el aprender a controlar las enfermedades de las aves de traspatio las cuales durante temporadas presentan tasas de mortalidad altas.
Zona urbana	Diversidad de mariposas	Este tema se abordó debido a la inquietud de algunos niños de formar un grupo y participar en una investigación. El tema fue sugerido por el investigador externo respondiendo a la inquietud de los niños de ser formados como investigadores comunitarios.


diar las mariposas de su localidad. Cabe mencionar que este grupo refleja el gran potencial existente para trabajar con niños y jóvenes en temas ambientales dado a su interés mismo. A continuación se hace mención de algunos de los principales retos que se han dado durante el desarrollo del trabajo.

## Los retos de la investigación conjunta

Los grupos de investigación han abarcado diferentes actividades para definir metodologías a partir de la experiencia tanto de actores locales internos como de externos (investigadores y académicos), así como también el aprendizaje de algunos materiales de apoyo, a partir de lo cual se ha iniciado el proceso de toma de datos en campo. El desarrollo y fortalecimiento de cada grupo de investigación ha sido muy diferente y cada uno ha adquirido su dinámica interna propia tanto por las características mismas del tema de investigación como también debido al interés o posibilidades tanto de los investigadores comunitarios como de los investigadores externos dentro del proceso. Vale la pena reflexionar sobre algunos de los retos que han surgido y que representan un aprendizaje importante para la investigación conjunta.

Uno de los principales retos a los que nos hemos enfrentado es la baja participación por parte de los investigadores comunitarios. Aunque esto no es generalizado y existen personas o grupos que han mantenido una participación constante, otros de los grupos han sido poco constantes o han terminado por desintegrarse. Son varias las razones de la baja participación. Una de ellas, que podría ser la más importante, tiene que ver con que la participación de la gente en el proceso de investigación conjunta se da a partir de trabajo voluntario, lo cual puede verse limitado cuando las personas priorizan las múltiples actividades que implica el quehacer diario. Además de que es común que la gente esté acostumbrada a participar recibiendo una remuneración en proyectos que pocas veces resultan en beneficios tangibles para ellos mismos sin siquiera conocer los resultados que se generan, lo que propicia una falta de interés o de confianza por este tipo de proyectos.

Lo anterior se acentúa con la gran cantidad de proyectos subsidiados por el gobierno mediante esquemas paternalistas basados en una baja credibilidad de las capacidades locales, lo que limita



las expectativas de las comunidades. Se podría decir entonces, que para continuar participando en el proceso es porque se tiene un entendimiento pleno de los beneficios que el desarrollo de las actividades de investigación traerá a corto (muy pocas veces), mediano o incluso largo plazo (o porque la experiencia les resulta divertida). Muchas veces, si no se ha experimentado el proceso, no necesariamente es evidente la relevancia que puede tener para ellos y su comunidad. A esto se suman los problemas del día a día que las personas (unas más que otras) enfrentan en el contexto local para lograr sus medios de vida (muchas veces existe poco tiempo para el “esparcimiento”, o dicho en otras palabras, el trabajo voluntario). Existen también problemas de organización interna en las comunidades, que limita relaciones y una planeación a un plazo más allá del inmediato. Las personas que se han mantenido constantes en los grupos resaltan por su perseverancia e interés considerando todo lo anterior.

Otro de los retos ha sido la capacidad que tiene el grupo externo para dar el seguimiento necesario. Una limitante es el reunir equipos dispuestos a realizar este tipo de investigación, dado que incluye tanto a los investigadores académicos con sus actividades y demandas académicas específicas, que hacen difícil el acompañar este tipo de procesos, como a los gestores, en este caso la organización civil local acompañante, para los que puede ser difícil reunir el personal suficiente (tanto por limitantes económicas como por falta de capacidades dentro del personal al que se tiene acceso). En este sentido la constancia es indispensable. Muchas veces la falta de experiencia en la investigación conjunta hace al investigador externo poco preparado para responder a la demanda implicada. Apoyarse en “expertos” o especialistas en los temas, no siempre es fácil, ya que estos no necesariamente son sensibles al proceso de investigación conjunta. A veces también puede ser difícil reunir la información requerida para los temas seleccionados (que no siempre son de su dominio). Lo mismo para transmitir los beneficios del aprendizaje conjunto, que no siempre es evidente hasta haberlo realizado. Esto puede desanimar la participación local pues en muchas instancias las investigaciones toman caminos diferentes o son más difíciles de lo esperado haciendo complicado mantenerse en el proceso. Un reto importante en este sentido es la percepción que la población local a veces tiene del externo, al considerarlo sujeto que trae “recetas” para resolver problemas y no como sujeto que induce a la gente a trabajar para resolverlos por su propia cuenta. En este sentido, la concepción de la investigación como medio de aprendizaje para el cambio es un gran reto.

Sin embargo, el reto más importante para la investigación conjunta es el tiempo, ya que los beneficios son más evidentes en procesos de largo plazo, a los que muchas veces los investigadores externos no se pueden ajustar o no tienen los recursos necesarios para hacerlo. Tal vez el tiempo necesario para la realización y consolidación de la investigación conjunta se debe considerar desde el inicio, propiciando procesos reflexivos más de largo aliento para determinar los temas y preguntas de las investigaciones y lograr una priorización adecuada que lleve a comprender los alcances de las investigaciones conjuntas propuestas. Lo anterior se podría traducir, tal vez, en una mayor participación desde el inicio. Otro aspecto relacionado con el tiempo, es el que se requiere para alcanzar la fase de reflexión después de haber colectado la suficiente información que derive en un aprendizaje conjunto que se traduzca en beneficios tangibles y que dé lugar a la apropiación de la investigación como herramienta para el manejo y propicie a su vez una participación continua o la inclusión de nuevos interesados de las comunidades. Finalmente los recursos para que desde las instituciones se pueda dar seguimiento para transitar por las diferentes etapas que el ciclo de investigación conjunta requiere.


Concluimos haciendo énfasis en la importancia que el planteamiento de la investigación conjunta puede tener al incrementar las capacidades de las instituciones locales. En este sentido, el trabajo en colaboración que el proyecto COMBIOSERVE ha propiciado entre la institución académica y la asociación civil local en Calakmul, tiene el potencial de contribuir mediante la aportación desde la academia a incrementar capacidades para que desde lo local se pueda dar el acompañamiento a los procesos a mediano y largo plazo que se requieren para la gestión del territorio y el apoyo a las comunidades.

## Agradecimientos

El trabajo presentado es parte del esfuerzo realizado en las comunidades Once de Mayo y El Sacrificio, Calakmul, Campeche, por lo que se reconoce la participación voluntaria de los representantes de las comunidades que han trabajado en las actividades descritas. Así también, se reconoce el aporte de otros miembros del consorcio COMBIOERVE en el trabajo. El proyecto COMBIOERVE "Assessing the effectiveness of community-based management strategies for biocultural diversity conservation", ha sido financiado por la Comisión Europea FP7-ENV-2011, con número de convenio #282899.

## Referencias

- Abbot, J. & Guijt, I. 1998. **Cambiando perspectivas para observar el cambio: Enfoques participativos para el monitoreo del medio ambiente**. SARL IIED. London, U.K.
- Akbulut, B. & Soyly, C. 2012. An inquiry into power and participatory natural resource management. **Cambridge Journal of Economics** **36**: 1143–1162.
- Ballard, H. & Belsky, J.M. 2010. Participatory action research and environmental learning: implications for resilient forests and communities. **Environmental Education Research** **16** (5-6): 611–627.
- Berkowitz, A. R.; Ford, M.E. & Brewer, C.A. 2005. A framework for integrating ecological literacy, civics literacy, and environmental citizenship in environmental education. Pp. 227–266. In: Johnson, E. A. & Mappin, M. J. (Eds.). **Environmental Education and Advocacy: Changing Perspectives of Ecology and Education**. Cambridge University Press.
- Boege, E. 1995. **The Calakmul Biosphere Reserve (Mexico)**. Working Paper No. 13. UNESCO (South-South Cooperation Programme), Paris. 38 pp.
- Boissiere, M.; Bastide, F.; Basuki, I.; Pfund, J. L. & Boucard, A. 2014. Can we make participatory NTFP monitoring work? Lessons learnt from the development of a multi-stakeholder system in Northern Laos. **Biodiversity and Conservation** **23**: 149–170.
- Brechin, S.R.; Wilshusen, P. R.; Fortwangler, C. L. & West, P. C. 2002. Beyond the Square Wheel: Toward a More Comprehensive Understanding of Biodiversity Conservation as Social and Political Process. **Society and Natural Resources** **15**: 41–64.
- CBD - CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. 1992. **Convention on Biological Diversity. Text and Annexes**. Pp. 1–34. Available from: [www.biodiv.org](http://www.biodiv.org)
- Danielsen, F.; Balete, D. S.; Poulsen, M. K.; Enghoff, M.; Nozawa, C. M. & Jensen A. E. 2000. A simple system for monitoring biodiversity in protected areas of a developing country. **Biodiversity and Conservation** **9**: 1671–1705.
- Ericson, J. A. 2006. A participatory approach to conservation in the Calakmul Biosphere Reserve, Campeche, Mexico. **Landscape and Urban Planning** **74**: 242–266.
- Feinsinger, P.; Pozzi, C.; Trucco, C.; Cuellar, R. L.; Laina, A.; Cañizares, M. & Noss A. 2010. Investigación, conservación y los espacios protegidos de América latina: una historia incompleta. **Revista Ecosistemas** **19**(2). <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=645>.
- Haenn, N. 1999. The Power of Environmental Knowledge: Ethnoecology and Environmental Conflicts in Mexican Conservation. **Human Ecology** **27** (3): 477–491.
- IUCN - INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES. 2007. A Rapid Participatory Biodiversity Assessment, Stora Enso Eucalypt Plantation in Southern Lao PDR. Vientiane, Lao PDR
- Izurieta, A.; Sithole, B.; Stacey, N.; Hunter-Xenie, H.; Campbell, B.; Donohoe, P.; Brown, J. & Wilson, L. 2011. Developing indicators for monitoring and evaluating joint management effectiveness in protected areas in the Northern Territory, Australia. **Ecology and Society** **16**: 9. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04274-160309>.

- 
- Noss, R. 1990. Indicators for Biodiversity Monitoring: A hierarchical approach. **Conservation Biology** 4 (4): 355-364.
- Oldekop, J. A.; Bebbington, A.J.; Berdel, F.; Truelove, N. K.; Wiersberg, T. & Preziosi, R. F. 2011. Testing the accuracy of non-experts in biodiversity monitoring exercises using fern species richness in the Ecuadorian Amazon. **Biodiversity Conservation** 20:2615–2626.
- Stork, N. E.; Boyle, T. J. B.; Dale, V.; Eealey, H.; Finegan, B.; Lawes, M.; Manokaran, N.; Prabhu, R. & Soberon, J. 1997. **Criteria and Indicators for Assessing the Sustainability of Forest Management: Conservation of Biodiversity**. Working Paper No. 17. CIFOR.
- Vester, H. F. M.; Lawrence, D.; Eastman, J. R.; Turner II, B. L.; Calmé, S.; Dickson, R.; Pozo, C. & Sangermano, F. 2007. Landchange in the Southern Yucatan and Calakmul Biosphere Reserve: Effects on habitat and biodiversity. **Ecological Applications** 17(4): 989–1003.

# RETOS Y PERSPECTIVAS DEL MONITOREO PARTICIPATIVO CON COMUNIDADES TSIMANE' EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA Y TERRITORIO COMUNITARIO DE ORIGEN PILÓN LAJAS, BENI – BOLIVIA

**Susana Arrázola<sup>1</sup>, Ximena Vélez-Liendo<sup>1</sup>, Olga Ruiz<sup>1</sup>,  
Thomas Huanca<sup>2</sup>, Esther Conde<sup>2</sup>, Dalia Huallata<sup>3</sup>,  
Eligia Huallata<sup>3</sup>, Virginia Saravia<sup>3</sup>, Hector Saravia<sup>3</sup>,  
Felipe Huallata<sup>4</sup>, Fernando Sarabia<sup>4</sup>, Julio Tayo<sup>4</sup>,  
Luciana Porter<sup>5</sup>, Federico Escobar<sup>5</sup>  
& Fábio Pedro Souza de Ferreira Bandeira<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Mayor de San Simón, Centro de Biodiversidad y Genética, Bolivia.  
[sarrazola@fcyt.umss.edu.bo](mailto:sarrazola@fcyt.umss.edu.bo)

<sup>2</sup>Centro Boliviano de Desarrollo y de Investigación Socio Integral, Bolivia.

<sup>3</sup>Comunidad de Alto Colorado. Reserva de la Biosfera y Territorio Comunitario de Origen Pilón Lajas-Beni- Bolivia.

<sup>4</sup>Comunidad de San Luis Chico. Reserva de la Biosfera y Territorio Comunitario de Origen Pilón Lajas- Beni- Bolivia.

<sup>5</sup>Instituto de Ecología, A.C., México.

<sup>6</sup>Universidad de Estadual de Feira de Santana, Brasil.

## Introducción

El monitoreo participativo con comunidades tiene su origen en la fusión de la investigación-acción y la investigación participativa (Khanlou & Peter 2005). La *investigación-acción*, se remonta a la década de 1940 por Kurt Lewin, quien había sostenido que era necesario un nuevo tipo de investigación para la transformación social. De tal forma, Lewin e investigadores, incluyen a miembros de la comunidad como co-socios en la investigación. La *investigación participativa* la cual se remonta a trabajos en el hemisferio Sur (América Latina, Asia y África) se enfoca en la transformación de la sociedad a través del conocimiento de experiencia.

Estos dos enfoques, investigación – acción y la investigación participativa tienen sus raíces en los campos de las ciencias sociales y la educación popular (Khanlou & Peter 2005). Durante la década de 1960, este tipo de *investigación-acción participativa* llega como una pedagogía de la liberación en el contexto de la educación de adultos en América Latina y sirve como una plataforma específica de la que la transformación social entre los grupos sociales oprimidos como los pueblos indígenas, las

comunidades tradicionales, y las mujeres. La investigación-acción participativa se caracteriza por englobar principalmente tres aspectos: la investigación, la educación y la acción social.

Muchas áreas rurales y comunidades indígenas de países de América Latina y el Caribe históricamente han desarrollado estrategias para regular el uso del suelo y conservar la biodiversidad, al mismo tiempo mejorar los medios de vida y reducir conflictos. Junto a estas estrategias indígenas para la gestión de los recursos naturales, las intervenciones exógenas que buscan combinar la conservación con el desarrollo como el ecoturismo, pagos por servicios ambientales y los derivados de la biodiversidad han surgido y se aplican ampliamente en la región, sin embargo, han sido pobremente estudiadas.

En este trabajo analizamos los retos y perspectivas del monitoreo participativo en el manejo y conservación de los recursos naturales con comunidades Tsimane en la Reserva de la biosfera y territorio comunitario de origen Pilón Lajas (RBTCOPL), Bolivia a partir de la experiencia del consorcio COMBIOSERVE<sup>1</sup>.

Hay muchos términos que se utilizan para referirse a la investigación-acción-participativa, incluyendo, pero no limitado a: participación comunitaria, participación basada en la comunidad, colaboración comunitaria y cooperación comunitaria. En general, las *tradiciones científicas de acción* (del norte) que se derivan del modelo Lewinianiano, se pueden pensar que están en un extremo del continuo, y las *investigación participativa* y la *investigación-acción participativa* (Sur) que se derivan en gran parte del modelo Freirianiano, pueden considerarse el otro extremo. Los métodos de investigación cooperativos y mutuales, ocuparían una posición intermedia entre los dos extremos. Mientras que muchos académicos sostienen que hay importantes diferencias ideológicas entre estos términos, a efectos de esta revisión vamos a centrarnos más bien en su tema común subyacente de la inclusión de los participantes como colaboradores plenos en todo el proceso de investigación.

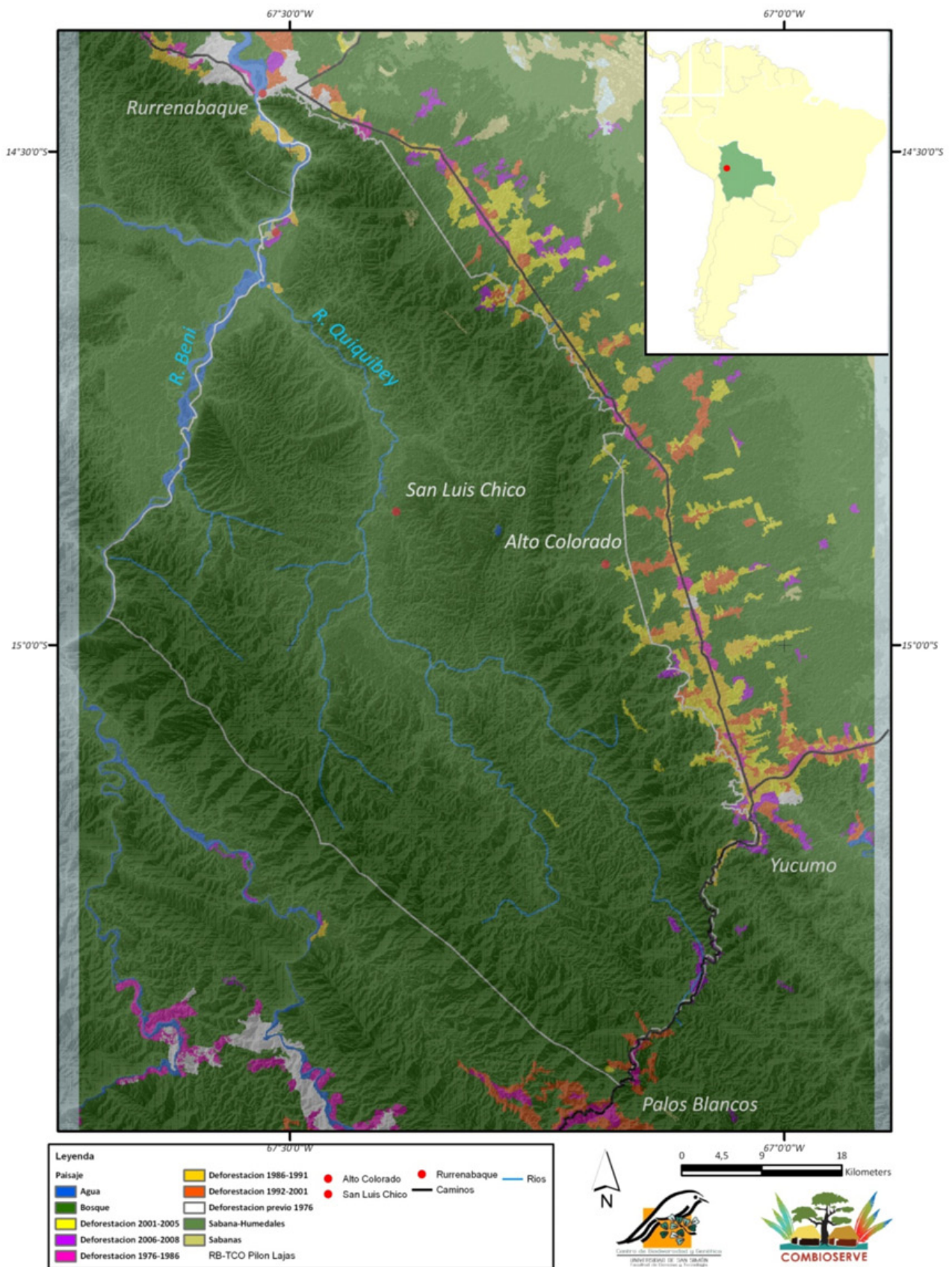
## La Reserva de la Biosfera y Territorio Comunitario de Origen Pilón Lajas

La Reserva de la Biosfera y Tierra Comunitaria de Origen Pilón Lajas (Fig. 1), fue creada a inicios de la década de 1990 y tiene la característica de contar con el doble estado de Reserva de la Biosfera y Tierra Comunitaria de Origen (Peredo-Videa 2008). Está localizada a 350 km Noreste de la ciudad de La Paz y 50 km de San Borja (Beni) y cuenta con una superficie de 386,000 hectáreas. Se encuentra en las últimas estribaciones de los Andes, y comienzos de las Sabanas del Beni, ubicada entre las provincias Sud Yungas y Franz Tamayo del departamento de La Paz y en la provincia General José Ballivián del departamento del Beni. Colinda al norte y este con el camino Yucumo-Rurrenabaque; al oeste con el río Beni y al suroeste con el Territorio Comunitario de Origen Mosekene y el tramo carretero entre La Paz y Yucumo (Fig. 1). El área protegida se sobrepone con los municipios de Rurrenabaque, San Borja, Palos Blancos y Apolo. Las coordenadas geográficas en las que se encuentra la reserva (punto central) son: -67°21 Oeste y -14°57' Sur (Peredo-Videa 2008; SERNAP 2009).

La región montañosa de la reserva, llega hasta los 2000 msnm la cual rodea el amplio valle aluvial del río Quiquibey. La reserva cuenta con una gran biodiversidad debido a la gran variedad de ecosistemas entre los cuales se encuentra los bosques lluviosos sub Andinos, bosques pluviales de pie de monte, bosques estacionales húmedos, bosques riparios y zonas pantanosas (Ribera 1999).

<sup>1</sup> Proyecto "Assesing the effectiveness of community-based management strategies for biocultural diversity conservation" financiado por la Comisión Europea FP7-ENV-2011, con número de convenio No. 282899.





**Figura 1.** Mapa de la Reserva de la Biosfera y Territorio Comunitario de Origen Pilon Lajas, y la localización de las comunidades de San Luis Chico y Alto Colorado.

Según Navarro y Maldonado (2002), la reserva se encuentra en la región de la vertiente oriental Andina y subandina que corresponde al sector biogeográfico amazónico del Piedemonte Andino del Distrito Amazónico del Alto Beni con las siguientes unidades de vegetación (Navarro 2002):

- (a) Bosques pluviales subandinos inferiores de los yungas del Beni;
- (b) Selvas amazónicas pluviestacionales de tierra firme del Alto Beni;
- (c) Selvas de varzea de bajío del Alto Beni;
- (d) Palmares y bosques pluviales subandino superiores de los yungas.

Una estimación indica que la zona de la reserva cuenta con la más alta diversidad florística del Beni aproximada mente 2.000 a 3.000 especies de plantas vasculares (Killeen 1993).

La posición contigua con el Parque Nacional Madidi, y su situación con relación al corredor Vilcabamba-Amboro, hace que la reserva sea una parte importante para la conservación de especies con requerimientos ecológicos amplios y roles importantes para la conservación como el oso Andino (*Tremarctos ornatus*) y el jaguar (*Panthera onca*) (Gómez and Wallace 2004). Inventarios tanto florísticos y faunísticos han sido llevados a cabo en sitios representativos de la reserva (Barrera *et al.* 1994; Hennessey *et al.* 2003), pero no existe una información actual del estado de conservación de la biodiversidad de la reserva. Debido a su heterogeneidad geológica, condiciones climáticas y gradientes altitudinales, tanto la diversidad biológica y endemismo en la reserva se cree que son extremadamente altos.

## Comunidad Tsimane'

La comunidad Tsimane' junto con los Tacanas y Mosevenes, son tres etnias que habitan la RBTCOPL. Dentro de la reserva, las comunidades indígenas se ubican principalmente en la zona piedemontaña, cerca de la carretera, y en la orilla de los ríos Beni. Las actividades se centran en pesca, cacería y agricultura, todos ellos de forma tradicional y para el autoconsumo. En ciertos asentamientos en el río Quiquibey, las comunidades explotan la jatata (*Geonoma deversa*) para construcción de techos (también comercializan para la autosubsistencia que es complementario a su economía).

La RBTCOPL ha sido históricamente ocupado por los Tsimane's y Tacanas en forma seminómada durante más de 150 años, aunque los territorios ancestrales del grupo Tacana se extienden más hacia el norte y noroeste. En la actualidad, la reserva cobija a once comunidades las cuales varían en antigüedad, algunas son bastante antiguas y otras muy recientes.

Debido a la influencia de la carretera en el límite Este de la reserva, muchos indígenas han dejado el trabajo en la comunidad y van a trabajar a los chacos de campesinos migrantes o colonos, cuya población es por encima de los 10 000 (INE 2013). En su mayoría originarios del altiplano, estos campesinos migrantes llegaron inicialmente entre 1978 y 1980 con la iniciación de la construcción del camino Yucumo-Rurrenabaque, y posteriormente otro grupo de migrantes llega entre 1983 y 1987, después de la nacionalización y cierre de minas del estado en su gran mayoría del altiplano.

La gran riqueza de recursos, en particular maderera, ha resultado en la presencia de varias concesiones para su explotación alguna de ellos legales, pero una gran mayoría ilegales. Esta explotación desmesurada de los recursos trajo constante conflictos entre los colonos y los indígenas (conflictos con las empresas madereras, sindicato de motosierristas colonos e indígenas)

Desde la delimitación de ambos, territorio indígena y la reserva de la Biosfera, los conflictos se han reducido. Sin embargo, el temor de la pérdida de sus territorios aun persiste en muchas comunidades indígenas si la migración continúa. Consejo Regional Tsimane' y Mosevene (CRTM).

La TCO es representada por el Consejo Regional Tsimane y Mosekene (CRTM). El consejo tiene el fin de poder representar y defender a las diferentes comunidades indígenas de la reserva, velar por sus intereses y actuar como un representante legal ante las autoridades gubernamentales. Es de esa forma que el CRTM es parte de la CIDOB (Confederación de Pueblos Indígenas de Bolivia) y a la Central de Pueblos Indígenas del Beni (CPIB).

## Comunidades en las que se ha desarrollado el Proyecto

Las comunidades con las que se ha trabajado son San Luis Chico y Alto Colorado.

*San Luis Chico.* - se encuentra en el centro de la reserva a orillas del río Quiquibey a 8 horas por bote desde Rurrenabaque. Tiene una población reducida de 23 familias y como principales actividades económicas están la producción de cacao nativo y el tejido de jatata para los techos. Adicionalmente, pero más para consumo interno, los comunarios de San Luis cazan, pescan y recolectan frutos de los bosques los cuales son los más intactos de toda la reserva.

*Alto Colorado.* - se encuentra en el límite Este de la reserva a 20 minutos de la carretera Rurrenabaque-Yucumo (en automóvil). La población está constituida por 46 familias y el acceso a la carretera ha disminuido sus actividades de cacería y/o pesca y son más dependientes de los trabajos eventuales que puedan proveer colonos vecinos. A pesar de la fuerte influencia externa, las mujeres aun recolectan frutos de los bosques, pero esta actividad es cada vez menor.

## Monitoreo participativo

El propósito de aplicar el monitoreo participativo con enfoque de co-investigación como método, se debe a los beneficios de la colaboración que la experiencia externa y el conocimiento indígena pueden dar para un mejor manejo de los recursos (Porter, en prep.). El conocimiento indígena sobre la biodiversidad se ha formado a través de las generaciones (padres a hijos), como también por la constante interacción de la comunidad con el medio ambiente. El conocimiento de los científicos por otro lado, provee herramientas y metodologías para poder comprender y sistematizar la información.

La investigación basada en participación de la comunidad (o basada en la comunidad) se refiere a un enfoque de colaboración donde académicos, organizaciones y miembros de la comunidad, forman un consorcio donde todos los miembros forman parte en todas (o en su gran mayoría), las fases del proyecto o iniciativa (Israel *et al.* 1998).

La meta de este tipo de investigación, es mejorar las vidas de las personas de la comunidad estudiada, a través de la investigación y educación. En este modelo, miembros de la comunidad e investigadores, trabajan conjuntamente para definir la pregunta o el tema de investigación, diseño, la implementación de las metodologías, interpretación y la disseminación de la información colectada (Israel *et al.*, 2005; Macaulay *et al.* 1999). Este tipo de investigación, de acuerdo con Burhansstipanov *et al.* (2005), es más una *orientación a la investigación*, más que una metodología como tal, y esta *orientación* está siendo ampliamente utilizada y preferida por las comunidades de las Américas. Es posible que esta preferencia por parte de las comunidades indígenas, se deba a que las comunidades han sido utilizadas por lo llamado "investigación helicóptero" significa: el académico llega a la comunidad, toma la información, y se retira, con muy poca interacción con la comunidad (Pontes & Gendron 2005).

El proceso para el desarrollo del monitoreo participativo en ambas comunidades se basó en el ciclo de indagación (Feinsinger 2003) el cual consiste en tres pasos: Pregunta, acción y reflexión. Se realizaron talleres en ambas comunidades, los cuales tuvieron el objetivo de identificar conjuntamente elementos importantes para la conservación y monitoreo y plantear la pregunta

central para la investigación. En esta etapa del ciclo de indagación, y para poder ver el conocimiento y que este sirva como base para la discusión y definir la pregunta se elaboraron los siguientes mapas parlantes.

1. *Mapa base o de espacio*. Los límites de la comunidad son dibujados y se identifican los elementos que componen el paisaje actual (se puede indicar las unidades de paisaje). Este primer mapa tiene que ser de forma libre ya que la concepción de "espacio" puede diferir entre los miembros de las comunidades y los investigadores.

2. *Mapa de Usos*. Utilizando el mapa 1 como base, se sobrepone una hoja de papel mantequilla y se dibuja el mapa de usos. En esta segunda capa, se identifican unidades de manejo donde se llevan a cabo una serie de actividades específicas.

3. *Mapa de Iniciativas y/o proyectos*. Una vez que los conceptos sobre Iniciativas y Proyectos son aclarados se incluye una nueva hoja sobre las capas anteriores (espacio y uso) y se identifican las Iniciativas/proyectos existentes. En esta hoja en blanco sobrepuesta se dibujan los proyectos o iniciativas importantes que se tienen en general e identificando aquellas relacionadas con la conservación, como pueden ser áreas de conservación, área de manejo forestal, zona con árboles semilleros, área donde se restringe la caza, área de reforestación, etc. También se identificarán las instituciones (si las hay) que han apoyado los proyectos o iniciativas.

4. *Mapa de biodiversidad*. Para la construcción de este mapa, se hizo uso de cartillas con fotografías y nombres en Tsimane' de mamíferos que podrían habitar la zona. Sobre una nueva hoja, se van marcando con números los sitios donde las especies fueron observadas. Con referencia a la diversidad de plantas, estas fueron dibujadas (y descritas) de acuerdo al uso que representan.

Después de la elaboración de los mapas los cuales sirvieron para crear una lista de necesidades e inquietudes, se identificaron los temas de investigación conjunta, y a pesar que la lista de temas de investigación fueron bastante extensos, el equipo de investigadores intentaron centrar en las capacidades de cada institución y de tal forma, los temas elegidos fueron: San Luis Chico: Reforestación con especies nativas y pesquería; y Alto Colorado: Mapeo comunitario y plantas medicinales.

Para cada tema de investigación, se determinaron las acciones (segundo paso del ciclo de indagación), que los investigadores e investigadores-comunitarios que se llevarían a cabo a manera de responder la pregunta original. Los equipos de trabajo respondieron a las capacidades y experiencias de los miembros de cada comunidad.

## Reforestación

San Luis Chico: El tema de reforestación nace a partir de experiencias de la comunidad en la utilización de especies nativas para proveer sombra a cultivos de cacao. Inicialmente se seleccionaron tres especies (Mara, Roble y Cedro). Sin embargo, la dificultad de encontrar arboles semilleros y obtener la semillas, reduce el proyecto a una sola especie, la Mara (*Swietenia macrophylla*). Esta es una especie de árbol originaria de la zona intertropical americana perteneciente a la familia de las Meliaceae. Es un árbol caducifolio, de 35 a 50 m (raramente hasta 70 m) de altura, diámetro a 18 dm de altura: 10 a 18 dm (hasta 35 dm). Copa abierta, redondeada en forma de sombrilla. Estas características, hacen a la Mara ideal para proveer sombra a cultivos de cacao, pero también ideal para la construcción de muebles.

La metodología que se empleó para la co-investigación fue la siguiente. (1) Reconocimiento de arboles semilleros (2) Seguimiento fenológico (3) Recolección de semillas (4) Control de la germinación. (5) Plantación y finalmente (6) Monitoreo.

## *Pesca*

San Luis Chico: El proyecto de pesca, se origino ante la preocupación de los comunarios sobre la variación en la cantidad de peces extraídos del rio Quiquibey durante los últimos años. Es así, que ellos eligen el tema para poder monitorear a lo largo de un año tanto la especie como la cantidad de peces que ellos pescan. Los co-investigadores, hacen entrevistas semanales a los miembros de la comunidad que pescaron durante esos días y dicha información es incluida en formularios producidos por los investigadores.

## *Mapeo comunitario*


Alto Colorado: El proceso de discusión sobre necesidades para la comunidad, se origino con cuestionamientos sobre límites de la comunidad, localización de los recursos y chacos. Es de esta manera, que se conforma un grupo de investigadores y el proceso se inicia con la capacitación sobre el uso de un GPS y lineamientos básicos en el uso de esta herramienta. Posteriormente, los investigadores comunitarios, realizan caminatas por su comunidad (límites y chacos), y colectan puntos en GPS. Estos puntos son enviados a los investigadores del Centro de Biodiversidad y Genetica y son visualizados en mapas base construidos con anterioridad. El resultado será presentado a toda la comunidad y se espera que esta origine una discusión entre los miembros.

## *Plantas medicinales*

El estudio de las plantas medicinales y artesanías fue una inquietud general de la comunidad de Alto Colorado, ya que ellos utilizan muchas especies de plantas para diversas enfermedades y problemas de salud que tienen, de igual manera el uso de palmas y frutos de diferentes plantas para realizar su artesanía (maricos, collares, abanicos, aretes, etc.). Por otro lado, el conocimiento tradicional que ellos tienen, sobre todo la gente adulta sobre el uso y el sitio de recolección (monte adentro, alrededor de la vivienda, en los bordes de ríos, etc.) son transmitidos a los hijos y estos son utilizados por los jóvenes que valoran la riqueza que tiene en su territorio. De esta manera se pudo conformar un equipo de 4 investigadores locales para que realicen el levantamiento de la información mediante encuestas (a personas que utilizan, conocen y curan las enfermedades) y la recolección de estas plantas. Hasta ahora se tiene un listado de alrededor 150 especies de plantas, con su respectiva identificación y su uso.

Finalmente, como tercer paso del ciclo de indagación, el cual es la reflexión, esta se ha centrado en los retos de la co-investigación por parte de los investigadores de las instituciones del COM-BIOSERVE, como también esperamos que las metodologías y estrategias de investigación conjunta que se han aplicado durante este tiempo con la comunidad, hayan mejorado las capacidades como investigadores comunitarios, y al mismo tiempo generar información sistemática sobre los temas identificados. Para las comunidades, la reflexión se ha presentado en los resultados y discusiones que han generado durante este tiempo trabajando como co-investigadores. El conocimiento y la experiencia se espera sea replicada.

La ventaja en la aplicación de este tipo de metodología permite también combinar conocimientos científicos – empíricos y la participación de la comunidad al proveer sus conocimientos. De igual forma, se ha visto que se desarrollan y mejoran las capacidades en el desarrollo de una investigación de tal forma que otros problemas o preocupaciones que puedan generarse en la comunidad puedan ser encaminados en un proceso de investigación y monitoreo propio. Por otro lado, esta metodología,



les permite mejorar su participación en la toma de decisiones sobre la conservación cuando se generan políticas de conservación en su territorio. Los resultados de las investigaciones conjuntas fueron apropiados totalmente por la comunidad por la activa participación en la generación de datos. Al convertirse los pobladores en investigadores locales, su curiosidad o inquietud fue llevada a un plano de investigación que a su vez les permitió recibir información que los capacito en esa área, como es el caso de plantas medicinales, donde los investigadores comunitarios hicieron las entrevistas semiestructuradas a los médicos tradicionales de su comunidad y en este proceso ellos recibieron información y empezaron a constituirse en los nuevos conocedores de plantas medicinales de su comunidad.

## Los retos de la investigación conjunta

El trabajo con comunidades presenta grandes retos. En el presente trabajo, la participación de los investigadores inicialmente fue significativa y constante. Pero a medida que el tiempo transcurrió, esta disminuyó, incluso algunos investigadores comunitarios tuvieron que dejar de trabajar para completar otros trabajos que les pueda proveer remuneración económica. Este tema es el más complejo, ya que los temas de investigación requieren tiempo, y en varios casos se busca una remuneración económica.

También se ha visto que es extremadamente importante estar con la comunidad la mayor cantidad de tiempo, no solo para resolver dudas, también para poder tener una mejor visión de la vida en la comunidad. El tiempo de trabajo conjunto es clave e importante, ya que en el día a día surgen más preguntas y también se resuelven mas problemas de manera conjunta.

El potencial de la investigación conjunta apunta a la producción de conocimiento, articulando de manera crítica los aportes de la ciencia y del saber tradicional, con el fin de reorientarlos hacia la acción transformadora de la realidad. Como en el mismo se involucra a los beneficiados de la misma, en la producción de conocimientos, implica un proceso de aprendizaje y desencadena intercambios constructivos entre investigador y comunidad en los que se abordan conjuntamente todas las etapas del proceso investigativo y de intervención social. El proceso involucra un diálogo que concede un rol activo a la comunidad, estimula su participación en el diagnóstico y resolución de sus necesidades.

Nuestro rol fue contribuir a la formulación de las teorías que expliquen la realidad desde su perspectiva y traducir estas teorías a la realidad concreta de los grupos y comunidades con los que trabaja, para interpretar la realidad y formular acciones para transformarla. También podemos decir que todo esto es un proceso cíclico de reflexión-acción-reflexión constante.

Para este proceso se ha observado que se requieren condiciones en la comunidad y a la vez se lleva a la comunidad a enfrentar desafíos como:

- ▶ El contexto actual en el que vive el país revela una falta de investigación, la balanza del financiamiento se inclina desproporcionalmente a favor de la acción, en desmedro del conocimiento y de lo que "ocurre" (tanto desde el punto de vista de la investigación pura como aplicada)", como es el caso de la extracción de jatata.
- ▶ Persiste la idea de una investigación aplicada. Se privilegia algunos temas, mas aplicados, pasando de lado los temas básicos a partir de los cuales se debe hacer los temas aplicados que en muchos de los casos, en estas comunidades los temas realizados los deja en un proceso incompleto donde la comunidad no sabe como continuar y carece de los mecanismos para hacer que estos temas sean productivos para ellos, como por ejemplo el tema del cacao.
- ▶ Se advierte desconfianza de las comunidades, cansadas de muchos estudios y proyectos realizados en sus territorios y de los cuales no conocen resultados, por lo que en varios casos, los mismos temas de investigación son propuestos otra vez para su realización.

Hay un contexto nuevo para la investigación con comunidades, se requiere:

- ▶ Fomentar la participación activa y responsable de la comunidad
- ▶ Colaborar con otros grupos de trabajo existente que potencien la investigación como una ONG y una institución científica.
- ▶ Permitir a la comunidad tomar decisiones sobre los temas investigativos.
- ▶ Hay relevancia de la participación comunal en la investigación, por el vínculo que se genera con los procesos de cambio social. Si la comunidad se involucra activamente, y desde el comienzo, en el proceso de desarrollo de la intervención, la participación se convierte en un proceso dinámico y dual de la toma de conciencia de la situación o problemática existente y de sus causas, así como de las acciones que pueden conducir a la superación de la situación, con un cambio del rol de la comunidad como protagonista en dirección de la intervención y consiguiente toma de conciencia.

## Agradecimientos

Agradecemos a las comunidades de Alto Colorado y San Luis Chico por permitirnos trabajar con ellos, también al Consejo Regional Tsemani' - Mosekene por la autorización y al Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el permiso para que el proyecto se desarrolle en esta área protegida.

## Referencias

- Barrera, S.; Guerra J.; Osorio F.; Sarmiento J. & Villalba L. 1994. Territorio Indígena Reserva de la Biosfera Pilón Lajas: Reconocimiento Preliminar de la Fauna. **CBF-IE-VSF**. Pp. 57. La Paz, Bolivia.
- Burhansstipanov L.; Christopher S. & Schumacher S. A. 2005. Lessons learned from community-based participatory research in Indian country. **Cancer Control**: 70-76.
- Feinsinger P. 2003. El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad. **FAN**: 242. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Hennessey, A. B.; Herzog, S.; Kessler, M. & Robison D. 2003. Avifauna of the Pilon Lajas Biosphere Reserve and Communal Lands, Bolivia. **Bird Conservation International (13)**: 319-349.
- Israel, B.A.; Eng, E.; Schulz, A.J. & Parker, E.A. 2005. Methods in community-based participatory research for health. **Jossey-Bass Publishers**. San Francisco, US.
- Israel, B.A.; Schulz, A.J.; Parker, E.A. & Becker, A.B. 1998. Review of community-based research: assessing partnership approaches to improve public health. **Annual Review of Public Health (19)**: 173-202.
- Khanlou, N. & Peter, E. 2005. Participatory action research: considerations for ethical review. **Social Science & Medicine (60)**: 2333-2340.
- Killeen, T., 1993. Perfil ambiental del Territorio Indígena y Reserva de la Biosfera Pilón Lajas. Informe técnico. **SERINCO**. Pp. 26. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Macaulay, A.C; Comanda, L.E.; Freeman, W.L.; Gibson, N.; McCabe, M.L.; Robbins, C.M. & Twohig P.L. 1999. Participatory research maximizes community and lay involvement. **British Medical Journal (319)** 774-778.
- Navarro, G. & Maldonado M. 2002. Geografía ecológica de Bolivia. Vegetación y ambientes acuáticos. **Fundación Simón I Patiño**.
- Peredo-Videa, B. 2008. The Pilon Lajas Biosphere Reserve and Indigenous Territory Beni, Bolivia. **Green College Oxford University**. Pp. 15
- Pontes Ferreira, M. & Gendron, F. 2011. Community-based participatory research with traditional and indigenous communities of the Americas: Historical context and future directions International. **Journal of Critical Pedagogy (3)**:153 -168
- Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). 2009. Plan de manejo y plan de vida de la reserva de la biosfera y tierra comunitaria de origen Pilón Lajas 2007-2017. **Servicio Nacional de Áreas Protegidas y Consejo Regional T´simane Mosekene**. Pp. 250



# REALIDADES Y RETOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS PRODUCTOS FORESTALES NO MADERABLES: ANÁLISIS DE CINCO ESTUDIOS DE CASO

**María Teresa Pulido Silva**

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Biológicas,  
Laboratorio de Etnobiología, Pachuca, Hidalgo, México.

[mtpulido@yahoo.com](mailto:mtpulido@yahoo.com), [mtpulido@gmail.com](mailto:mtpulido@gmail.com)

**N**on-timber forest products (NTFP) es un término introducido a la literatura en 1989 por Beer and McDermott, que en español corresponde al término “productos forestales no maderables” (PFNM). En sus inicios incluyó diversos productos exclusivamente obtenidos de bosques primarios, mientras que actualmente incluye una diversidad de recursos - excluyendo lo obtenido de tejidos leñosos en forma de rollo, tabla o pulpa- provenientes de ecosistemas con diverso grado de manejo humano, abarcando desde las masas más prístinas (de haberlas) hasta las modeladas por el hombre. Parcialmente, la diversidad de definiciones usadas obedece a la heterogeneidad de los diferentes sectores interesados y las diversas disciplinas implicadas en su estudio (Belcher 2003).

En este trabajo se definen a los PFNM como todos los recursos de origen biológico que no son madera (en rollo, tabla o pulpa), que pueden ser aprovechados por los seres humanos con fines de subsistencia y/o comercio y que pueden ser obtenidos de ecosistemas con distinto grado de manejo humano. Buscando facilitar su estudio, análisis y conceptualización, los PFNM deben circunscribir elementos más o menos comparables entre sí en términos de las estrategias de aprovechamiento y de estudio. Por ello, en este texto se considera que algunos ejemplos de PFNM son las hojas, exudados, ramas pequeñas, frutos, hongos, animales. Se excluye de este concepto a la tierra, a los servicios ambientales, y a la madera.

Se ha dicho a más no poder que la bondad de los no maderables es lograr simultáneamente la conservación y el desarrollo local, debido a que al aprovechar partes de los organismos, bajo un modelo productivo a baja escala, es posible conservar los ecosistemas y al mismo tiempo contribuir al bienestar económico y de subsistencia de los dueños y poseedores de estos ecosistemas. Sin embargo, no queda del todo claro ni se ha ejemplificado casos en donde los no maderables hayan sido un parteaguas que haya detonado el desarrollo local, aunque indudablemente son un complemento básico.

El propósito de este trabajo es hacer una reflexión sobre el papel de los no maderables, analizando sus realidades y desafíos, basándose tanto en cinco estudios de caso de los que se cuenta con información primaria, como en el marco conceptual disponible. Se pretende ejemplificar y reflexionar sobre algunos de los factores que conllevan al éxito y limitaciones del aprovechamiento de estos recursos. Para ello, se explicará y analizará brevemente cada estudio de caso, para finalmente contextualizar lo observado en función de lo reportado por diversos autores sobre el tema.



## Estudios de caso seleccionados

En este trabajo se estudiaron y compararon cinco PFNM (Figura 1): la cícada *Dioon mejia* Standl. & L.O. Williams en Honduras empleada como alimento, la cícada *Ceratozamia fuscoviridis* Moore útil en México para hacer arcos religiosos, la palma *Sabal yapa* Wright ex Becc. usada en México para techos, la palma *Brahea dulcis* ampliamente empleada en México para elaborar artesanías y el conjunto de PFNM comercializados en los mercados de la localidad de Leticia situada en la Amazonía Colombiana. Estos PFNM fueron seleccionados porque de ellos se cuenta con información primaria. Estos estudios se realizaron en México, Honduras y Colombia, en distintos tiempos y por primera vez son analizados de una forma integral para analizar las potencialidades y limitantes de su aprovechamiento sostenible.

### La cícada *Dioon mejia* en Río Grande (Honduras): las iniciativas locales

*D. mejiae* o “teocinte” forma bosques casi monoespecíficos, conocidos como bosques oligárquicos (Peters *et al.* 1989) en el centro de Honduras. Sus estructuras reproductivas femeninas o estróbilos son empleados como alimento durante cuatro meses, y sus hojas se usan como ornamento en fiestas católicas (Bonta *et al.* 2006). Debido al orgullo local por tener una de las especies más raras de la Tierra, surgió la iniciativa en el pueblo de Río Grande y Saguay (del municipio de Gualaco, Departamento de Olancho en Honduras) de instaurar la “Feria del Teosinte”, en honor a esta cícada. Además, recientemente esta planta fue declarada el árbol de Gualaco (Onán Reyes, comunicación personal, 2013). Durante la feria se realizan con esta cícada múltiples platillos tales como panes, tamales y atoles, donde el conocimiento tradicional logra transformar esta planta venenosa en alimento humano. Económicamente este PFNM benefició directamente a 10 mujeres en la feria del 2011, siendo un complemento a la economía familiar (Pulido 2011). Indirectamente, este PFNM trae ganancias significativas a estos pueblos, pues mediante las actividades propias de la feria (baile, jaripeo, juegos, etc) lograron recolectar fondos para construir un salón comunal. Esto fue logrado por la decisión de la comunidad de destinar sus ganancias a un bien común.

Esta cícada crece en altas densidades, tanto en bosques secos, como en bosques de pino y paisajes ganaderos y agrícolas. Sin embargo, la quema es una práctica común en este sitio para producir forraje nuevo para el ganado, lo cual ocasiona la mortalidad de este *Dioon*. Por otro lado, la planta es considerada un recurso de uso común, lo que conlleva a que la gente compita por cosechar sus estróbilos, lo que frecuentemente conduce a cosecharlos verdes y a desecharlos; al mismo tiempo, se detectó una baja frecuencia de plántulas tanto en bosques como en potreros (Pulido 2011).

### La cícada *Ceratozamia fuscoviridis* Wright ex Becc.: los arcos religiosos

Endémica del Estado de Hidalgo y probablemente de otros estados del centro de México, se pensó que estaba al borde la extinción con sólo 250 individuos adultos. Estudios recientes han demostrado que hay al menos 29 poblaciones en Hidalgo, y es la cícada más usada con fines tradicionales en el estado, pues sus hojas se aprovechan para elaborar arcos en rituales católicos en muchas comunidades de Hidalgo. Su uso alimenticio en esta zona está casi en el olvido, a pesar que fue un alimento que salvó de la hambruna durante la Revolución Mexicana. Sus densidades oscilan entre



**Figura 1.** Algunos de los productos forestales no maderables mostrados en el trabajo. Créditos: M.T. Pulido y M. Coronel-Ortega.

0.358 a 0.945 individuos/m<sup>2</sup>, siendo una de las cícadras con mayor densidad reportada, lo que aumenta su potencial como PFM. Este PFM no representa un beneficio económico en la actualidad, aunque brinda recursos importantes para la elaboración de arcos rituales, donde se emplean aproximadamente 40 hojas por arco (Vite *et al.* 2010). Sus amenazas mayores son la deforestación, aunque la planta logra sobrevivir en pequeñas áreas alteradas por basura y caminos. Aunque varias cícadras se han propagado mediante Unidades de Manejo Ambiental (UMAS), su potencial es bajo debido a sus lentas tasas de crecimiento.

## La palma *Brahea dulcis* (Kunth) Mart.: usada o prohibida según el contexto

Distribuida en 13 estados de la República Mexicana, donde forma palmares casi monoespecíficos con altas densidades, esta es una de las palmas más útiles en México pues se emplea para hacer petates, aventadores, techos y múltiples artesanías. Su uso se remonta a tiempos prehispánicos, donde se rendía tributo al imperio Azteca con objetos hechos con este PFM (Illsley *et al.* 2001). Sin embargo, las normas ambientales actuales dictan que deben realizarse avisos de aprovechamiento para su cosecha y transporte, lo cual pone en dificultades a muchos de sus manejadores.

Esta palma corre diversas suertes, dependiendo de las condiciones donde se la encuentra. Así, en Guerrero el sur del país muchas personas obtienen beneficios importantes para su economía familiar a partir de esta palma y de los agaves. Esto lo han logrado gracias al apoyo por décadas de organizaciones no gubernamentales (ONG) que han trabajado en conjunto para elaborar planes de manejo comunitarios y han logrado obtener los permisos necesarios. Similarmente, gracias al apoyo de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, en esa zona existe una cooperativa, que elaboran diversos productos, y han llegado a ganar en concursos nacionales de artesanía, según observaciones de campo realizadas en 2013. Sin embargo, en la Reserva vecina, llamada Reserva de la Biósfera Barranca de Meztitlán, su extracción actualmente no es permitida, pues ningún actor ha fomentado la obtención de permisos de aprovechamiento (Coronel-Ortega & Pulido 2011).

Este PFM, como muchos otros, está sometido a un proceso de sustitución pues el plástico ha venido a reemplazar parcialmente muchos de los productos elaborados con éste. Además de los asuntos motivados por la regulación ambiental, los bajos precios de los productos y la disminución en la demanda han causado una disminución de su uso.

## *Sabal yapa* Wright ex Becc.: la palma de la casa maya y de las palapas turísticas

Usada desde hace más de 3000 años, los mayas continúan techando sus casas tradicionales con este PFM, que no sólo les sirve para la casa, sino para alimento humano y animal, cercar, hacer canastos, entre otros muchos fines. Este PFM es muy importante en términos de subsistencia, y tiene un gran potencial comercial.

Actualmente, se ha intensificado su uso debido a un aumento del número de personas que la usan para sus casas, aunado con una creciente demanda para hacer palapas en la zona turística de Cancún, Playa del Carmen y Tulúm. Los estudios hechos en X-Maben, localidad situada en la Península de Yucatán, muestran que la especie llega a tener densidades de 34.4 ind/ha en milpas hasta 149.6 ind/ha en selvas (Pulido & Caballero 2006) y que la oferta de hojas en algunos lugares es de hasta 41 veces la demanda. Esto sugiere un alto potencial para cubrir la gran demanda comercial para palapas turísticas. Aunque la gente de X-Maben prefiere no vender las hojas para asegurar que

haya suficiente abasto interno, es también una dificultad obtener los permisos para su comercialización legal hacia otros pueblos. Como X-Maben comercializa madera a nivel comercial, lo cual implica contratar o asociarse con organizaciones que logren gestionar esos permisos, las ganancias que genera la venta de *Sabal* la usan para pagar a estas organizaciones.

## El mercado de frutas en Leticia (Colombia): muchos PFNM, pocos ingresos

En 1998 se comercializaron en Leticia 58 productos agrícolas cultivados, 11 frutos extraídos del bosque, 19 especies de pescados y otras especies para la producción de carbón, leña y artesanías, que constituyen el total de PVNM. La producción promedio anual de artículos agrícolas y de frutos del bosque comercializados en Leticia fue de 3188 ton./año (Pulido & Cavelier 2001). Es marginal la importancia comercial de PVNM estrictamente provenientes del bosque, siendo sólo el 14 % del número total de productos, el 0.6 % de la producción total en toneladas y el 0.3 % de los ingresos totales. Los productos vendidos en Leticia provienen de chagras, bosques y zonas secundarias de Perú, Brasil y Colombia. Al comparar la composición de productos vendidos en Leticia con otros mercados amazónicos, la mayor similitud de especies ocurre con el mercado de Belém do Pará, situado en el delta del Amazonas y es menor al compararlo con los mercados más cercanos de Manaus e Iquitos.

## ¿Cuál es la contribución de estos PFNM al bienestar y desarrollo local?

Como puede observarse, cada uno de los PFNM analizados constituye un caso particular con sus ventajas y limitaciones. A pesar de su alta abundancia biológica, de su versatilidad de usos y del alto conocimiento local asociado a estos recursos, en ningún caso son PFNM que hayan servido como detonadores de desarrollo regional a escalas notables. Su contribución indudablemente ha sido valiosa en la escala de la subsistencia familiar y han dado un aporte monetario significativo a nivel del hogar, más no como un motor de desarrollo. Para una discusión de los aportes de los PFNM a escala rural puede revisarse Marshall *et al.* (2006), López *et al.* (2006), Pulido *et al.* (2010).

Uno de los aspectos que merece mayor reflexión es cuáles son los casos en que los PFNM realmente son un detonante del desarrollo local, no sólo en términos económicos, sino en un sentido amplio de la sostenibilidad. Hay que recordar que históricamente ha habido auges importantes de los PFNM, como el del caucho, el del henequén, el de la ipecacuana y muchos otros, que con frecuencia han desarticulado los procesos sociales y culturales de los pueblos, sin tampoco lograr un bienestar económico para los recolectores y procesadores de los PFNM. ¿Es entonces una utopía plantear que los PFNM contribuyen realmente a la conservación y el desarrollo regional (en su sentido amplio)? o ¿qué se requiere para lograrlo?.

## Referencias

- Bonta, M.; Flores, O; Graham, D.; Haynes, J & Sandoval, G. 2006. Ethnobotany and conservation of tiusinte (*Dioon mejiae* Standl. & L.O. Williams, Zamiaceae) in northeastern Honduras. **Journal of Ethnobiology** 26: 228-257.
- Coronel-Ortega, M. & Pulido, M. T. 2011. ¿Es posible conservar y usar a la palma *Brahea dulcis* (Kunth) Mart. en el Estado de Hidalgo, México?. pp 103-110. In: Lagos, S., Sanabria, O.L., Chacón, P., García, R (Eds). **Manual de herramientas Etnobotánicas relativas a la Conservación y el uso sostenible de los recursos vegetales**. Red Latinoamericana de Botánica. OEA/FEMCIDI.

- Illsley, C.; Aguilar, J.; Acosta, J.; García, J.; Gómez, T. & Caballero, J. 2001. Contribuciones al conocimiento y manejo campesino de los palmares de *Brahea dulcis* (HKB) Mart. en la región de Chilapa, Guerrero. pp. 259-287. In: Rendón, A.B.; Rebollar, D.S.; Caballero, J.; Martínez, M (Eds.). **Plantas Cultura y Sociedad**. Mexico, Universidad Autónoma Metropolitana.
- López, C.; Shanley, P. & Cronkleton, M.C (eds). 2006. **Riquezas del Bosque: frutas, remedios y artesanías en América Latina**. Santa Cruz, Bolivia: CIFOR, International People and Plants, The Christensen Fund, Overbrook Foundation, CITRO.
- Marshall, E.; Schreckenberg, K. & Newton, A.C. 2006. **Comercialización de productos forestales no maderables, factores que influyen en el éxito. Conclusiones del estudio de México y Bolivia e implicancias políticas para los tomadores de decisiones**. Centro mundial de vigilancia de la conservación del PNUMA, Cambridge, Reino Unido. [www.unep-wcmc.org/forest/ntfp](http://www.unep-wcmc.org/forest/ntfp)
- Peters, C.M.; Balick, M.J.; Kahn, F. & Anderson, A.B. 1989. Oligarchic Forests of Economic Plants in Amazonia: Utilization and Conservation of an Important Tropical Resource. **Conservation Biology** 3: 341-349.
- Pulido, M.T. & Cavelier, J. 2001. Comercialización de productos vegetales no maderables en los mercados de Leticia y Florencia, Amazonía Colombiana. Pp 265-310. In: Duivenvoorden, J.F.; Balslev, H.; Cavelier, J.; Grandez, C; Tuomisto, H & Valencia, R. (Eds.). **Evaluación de recursos vegetales no maderables en la Amazonía noroccidental**. Ámsterdam, IDEB, University van Ámsterdam.
- Pulido, M.T. & Caballero, J. 2006. The impact of shifting agriculture on the availability of non-timber forest products: the example of *Sabal yapa* in the Maya lowlands of Mexico. **Forest Ecology and Management** 222: 399-409.
- Pulido, M.T.; González, M.S.; Hersch, P.; Illsley, C.; López, C.; Ramírez, F. 2010. Productos forestales no maderables: consideraciones sobre su dimensión económica. Pp 214-218. En: Moreno, A; Pulido, M.T.; Mariaca, R.; Valadéz Azúa, R.; Mejía, P. & Gutiérrez T.V. (Eds.). **Sistemas biocognitivos tradicionales: paradigmas en la conservación biológica y el fortalecimiento cultural**. Mexico, Asociación Etnobiológica Mexicana, Global Diversity foundation, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Colegio de la Frontera Sur y Sociedad Latinoamericana de Etnobiología.
- Ruiz-Pérez M; Belcher, B.; Achdiawan, R.; Alexiades, M.; Aubertin, C.; Caballero, J.; Campbell, B.; Clement, C.; Cunningham, T.; Fantini, A.; de Floresta, H.; García, C.; Gautam, K.H.; Hersch, P.; de Jong, W.; Kusters, K.; Govindan, M.; López, C.; Fu, M.; Martínez Alfaro, M.A.; Raghavan, T.K.; Ndoye, O.; Ocampo, R.; Rai, N.; Ricker, M.; Schreckenberg; Schackleton, S.; Shanley, P.; Sunderland, T. & Youn, Y. 2004. Markets drive the specialization strategies of forest people. **Ecology and Society** 9: 4. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art4/>
- Vite, A.; Pulido, M.T & Flores, J. C. 2010. Aspectos etnobotánicos de las cícadas en algunas zonas de Hidalgo, México. Pp 481-486. In: Moreno, A; Pulido, M.T.; Mariaca, R.; Valadéz Azúa, R.; Mejía, P. & Gutiérrez T.V. (Eds.). **Sistemas biocognitivos tradicionales: paradigmas en la conservación biológica y el fortalecimiento cultural**. Mexico, Asociación Etnobiológica Mexicana, Global Diversity foundation, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Colegio de la Frontera Sur y Sociedad Latinoamericana de Etnobiología.

# ETNOBOTÂNICA HISTÓRICA NO BRASIL

**Luci de Senna-Valle<sup>1</sup> & Maria Franco Trindade Medeiros<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Rio de Janeiro, Brasil.

[lucisenna@gmail.com](mailto:lucisenna@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde,  
Departamento de Ciências Biológicas, Cuité, Paraíba, Brasil.

[mariaftm@hotmail.com](mailto:mariaftm@hotmail.com)

## Introdução

**A**o colocarmos em foco a Etnobotânica Histórica no Brasil, consideramos que este manuscrito se constituiria, para nós mesmas, autoras, num instrumento reflexivo sobre nossa própria formação e trajetória profissionais ao ponderarmos sobre nossa formação na mesma casa, o Museu Nacional, que atualmente é uma Unidade da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mas que fora outrora palco da convivência da Família Real e de naturalistas cujo empenho científico des-cortinou-se no descobrimento da nossa biodiversidade, da nossa gente, da nossa cultura. Da reunião de duas biólogas, botânicas, com vivências na mesma área do conhecimento etnobiológico, resultou um tratamento iniciado pela dissecação historiográfica das pesquisas em etnobotânica com foco na abordagem histórica, passando-se ao desenvolvimento das atividades de ensino e pesquisa em Etnobotânica Histórica no Brasil.

A seguir, na sequência, faz-se uma breve reconstituição de relatos históricos que apontam para a diversidade de plantas nativas brasileiras, apresentando-se em seguida comentários acerca de padrões arqueológicos.

## Investigações em Etnobotânica, com foco na abordagem histórica

Etnobotânica histórica retrata a relação entre os seres humanos e as plantas “no espaço histórico” através de dimensões diacrônicas e sincrônicas. O estudo desta relação tem se mostrado de grande valor tanto do ponto de vista cultural quanto biológico (Hill 1952). Ela é necessária para a recuperação do conhecimento que descreve a utilização de espécies nativas úteis e exóticas para promover mais pesquisas sobre sua ecologia, conservação e sustentabilidade.

Esta área encontra-se incluída no campo da Etnobotânica que permite o diálogo com um amplo grupo da ciência, mas tem se concentrado de forma especial em áreas como a da história natural, da antropologia, linguística, história, o embasamento dos campos da geografia, cartografia, ecologia, arqueologia (Martin 1995; Medeiros 2009; Senna-Valle & Manzali 2009).

Pode-se considerar que há uma analogia entre a perda da língua e da cultura com a perda do conhecimento ecológico tradicional de uso e gestão da terra. O conhecimento das práticas de cura (etnomedicina), e a classificação e sistemas nomenclaturais (etnotaxonomia) contêm informações importantíssimas para a conservação e vida sustentável (Pinto 2005).

Neste ambiente de trabalho multidisciplinar e interdisciplinar, característico da etnobotânica, pesquisas relacionadas à cultura de sociedades, muitas vezes, já extintas, vêm permitindo a aproximação com a história, possibilitando “análises sobre os processos de continuidade e descontinuidade da utilização das espécies vegetais em períodos de tempo, em determinadas culturas humanas (Manzali & Elisabetsky 2012; Heinrich *et al.* 2006).

## Ensino e pesquisa da Etnobotânica histórica no Brasil

Pretende-se neste tópico relatar de forma sucinta a emergência e a consolidação da pesquisa científica em Etnobotânica Histórica no Brasil, ressaltando fatos pontuais voltados à capacitação pessoal, em nível de iniciação científica, mestrado e doutorado, e o aparecimento de projetos de pesquisa voltados para esta abordagem.

No sentido de caminharmos com esta análise da produção científica em Etnobotânica Histórica no Brasil, faz-se necessária a conceituação do que se considera como conhecimento etnobotânico. Este conhecimento distingue-se do chamado conhecimento tradicional (muitas vezes é utilizado como sinônimo de conhecimento local ou indígena). Segundo o “Dicionário Brasileiro de Etnobiologia e Etnoecologia” (Medeiros & Albuquerque 2012, p. 26), o hall de conhecimentos englobados no dito tradicional “consiste no conjunto de saberes, práticas e crenças a respeito do mundo natural e sobrenatural, construídos por uma cultura tradicional e geralmente transmitidos através da oralidade”. Assim, em contrapartida, o conhecimento etnobotânico é o conhecimento científico, aquele que prima pela sistematização, pelo conjunto de proposições correlacionadas acerca de um objeto de estudo limitado.

Tomando como ponto de partida a reflexão acima apresentada, é preciso ainda incluir mais um referencial. Este se refere ao marco de criação da Etnobotânica enquanto ciência, qual seja, a publicação no século XIX de Harshberger (1896). Desta maneira, assume-se, portanto uma visão particularista do que compreende a produção científica etnobotânica. Estabelecidos estes referenciais teóricos, parte-se então para a historiografia das atividades de educação e pesquisa em torno da Etnobotânica Histórica no Brasil.

Considerando primeiramente o âmbito educacional, a Etnobotânica Histórica teve no Curso de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Botânica) do Museu Nacional da UFRJ o primeiro projeto de tese de doutorado aprovado pelo corpo docente do referido programa e tese defendida na instituição, cujo arcabouço teórico se debruçava sobre esta perspectiva. Foi no ano de 2007, sob a orientação de um comitê composto pela primeira autora deste capítulo e pela Profa. Dra. Regina Helena Potsch Andreatta, que a tese da segunda autora foi defendida, tratando de modo geral da temática das práticas de curar adotadas no patrimônio histórico e cultural – Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro a formação acadêmica instalou-se a orientação de recursos humanos em nível de graduação (iniciação científica) e pós-graduação (mestrado e doutorado) envolvendo instituições como o próprio Museu Nacional (MN/UFRJ), a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Botucatu), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG – Belo Horizonte), a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Os cursos de pós-graduação implicados nesta temática são os de Ciências Biológicas, com área de concentração em Botânica (MN/UFRJ), como já mencionado, e o de Ciências Agrônomicas (UNESP). Tratando-se do curso de graduação, o de Ciências Biológicas é o que teve/tem a formação de recursos humanos nesta ciência etnobotânica que assume a vertente histórica.

No que se refere à incorporação da Etnobotânica Histórica como conteúdo programático, esta se faz presente na disciplina Etnobotânica, a qual é ofertada pelo já referido Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Botânica) do Museu Nacional, tendo como ministrante a primeira autora deste capítulo. A Etnobotânica Histórica, enquanto disciplina constituída, fora ofertada como

tópicos especiais pelos Programas de Pós-graduação em Botânica e Ecologia da UFRPE, no período de 2009 a 2011, tendo sido ministrada pela segunda autora da presente comunicação.

Como particularidade desta faceta educacional que vem permitindo a multiplicação deste olhar historiográfico na etnobotânica, e que aqui vem sendo comentada, deve-se destacar que as atividades neste escopo estão interligadas a projetos de pesquisa desenvolvidos nestas instituições.

Estes se utilizam da análise documental de fontes escritas (manuscritos e impressos), mistas (exsicatas) e iconográficas. A produção em escala temporal é abrangente e inclui a autoria de diferentes profissionais, tais como médicos, cirurgiões, boticários, naturalistas e botânicos. Para nos aprofundarmos sobre a produção documental brasileira, voltada para questões que envolvem a flora nacional, passemos ao tópico seguinte.

## **Diversidade de plantas nativas brasileiras: relatos históricos**

O que se pretende neste item é apresentar de forma breve algumas fontes documentais importantes para a problematização na Etnobotânica Histórica, como uma das manifestações das práticas investigativas adotadas por pesquisadores que se dedicam a esta ciência, restringindo-se a alguns autores que estão mais consolidados na história da Botânica.

### *Época do descobrimento do Brasil*

Em regiões neotropicais, muito da informação acerca dos modos de vida tradicionais de caçadores e coletores – anteriores à transformação ou à destruição de suas terras, subsequente à invasão europeia – surgiu através de escritos de cronistas, missionários, comerciantes e exploradores (Ingold 1994).

Documentos históricos relevantes trazem informações acerca do conhecimento dos habitantes do Brasil colonial, por exemplo, Gabriel Soares de Souza, em Tratado descritivo do Brazil em 1587 já indicava áreas onde eram viáveis de ocupação, baseando-se onde haveria disponibilidade de vários recursos (Souza 1851).

Há importantes obras entre os séculos XVI e XIX que mencionam usos de plantas, em especial medicinais, mesmo em obras de ilustres figuras da medicina, entre os quais se destacam os médicos portugueses Simão Pinheiro Morão (c. 1618-1685) e João Ferreyra da Rosa (c.1659-1725), que produziram tratados médicos que traziam receituários em suas páginas. No entanto, o conhecimento acerca de espécies empregadas como componente de “mezinhas” em tempos coloniais se perderam, pois, como destaca Alencastro (2000) os médicos Seiscentistas portugueses associaram as doenças tropicais americanas à nosologia acadêmica europeia, deixando de lado os medicamentos indígenas e as práticas de cura afro-brasileiras.

### *Narrativas de jesuítas*

Os religiosos, em especial os jesuítas que desembarcavam no país, tinham notadamente uma preocupação em conservar ou restabelecer a saúde deles próprios, dos colonos e dos silvícolas. Este fato se revela na colocação do Padre José de Anchieta, que nos fala sobre a dependência das pessoas da época à assistência dos irmãos: “[...] mesmo os portugueses parecem que não sabem viver sem nós outros [os jesuítas], assim em suas enfermidades próprias, como de seus escravos: em nós outros têm médicos, boticários e enfermeiros; nossa casa é botica de todos, poucos momentos está quieta a campainha da portaria” (Anchieta 1984, p. 239-240).



A botica referenciada por Anchieta, e todas as outras que estiveram presentes nas casas jesuíticas distribuídas em regiões do Brasil como Belém, Salvador e Rio de Janeiro, continuaram suas atividades até meados do século XVIII, quando houve a expulsão dos inicianos dos domínios portugueses (Leite 1953).

Nestes espaços inicianos dedicados às artes de curar havia a presença dos receituários (manuscritos), cujas receitas provinham tanto dos medicamentos comuns na Europa, quanto dos experimentos dos próprios religiosos com plantas brasileiras, que evidentemente não integravam os medicamentos de uso corrente na capital do Império Luso. Um dos mais conhecidos “remédios de segredo” jesuíta é a triaga brasílica, a qual foi estudada a fundo pelos professores Nuno Pereira, Jaccoud e Mors, depois de três séculos de sua criação (Pereira *et al.* 1996).

### *Registros dos naturalistas vindos para a colônia portuguesa*

Os motivos de o Brasil atrair o interesse dos naturalistas europeus foram políticos, os relatos da beleza e riqueza da colônia e o escasso conhecimento da natureza brasileira (Camargo 2002).

Marcgrave (1610-1648) e Piso (1611-1678) fizeram parte da colonização neerlandesa no Brasil no século XVII. Através de suas pesquisas botânico-médicas publicaram em 1848 a obra *Historia naturalis brasiliae*, considerada a primeira história natural do período colonial brasileiro, fazendo parte dela descrições de espécimes com suas iconografias (Alcides 2005).

Segundo Mello Leitão, em 1941, a obra compreende 303 páginas, ilustradas com 429 estampas grosseiras e está dividida em oito livros, a saber: das ervas, no qual se descrevem 149 espécies, 86 devidamente figuradas; dos arbustos e plantas frutíferas, com 48 espécies e 39 figuras; das árvores, em número de 104, 75 ilustradas.

Durante o século XIX, depois que Dom João VI decretou a abertura dos portos brasileiros, em 1808, houve o incremento da navegação, o estabelecimento de laços diplomáticos e o consequente aumento da presença estrangeira (Fetz 2011).

Destaca-se entre os naturalistas que fizeram parte das missões científicas do século XIX, que acompanharam a vinda da família real ao Brasil, o alemão Friedrich Philipp von Martius que publicou a *Flora Brasiliensis*, atualmente considerada a primeira estimativa de que o Brasil apresenta uma das maiores biodiversidades do mundo (Kury 2004).

A obtenção de informações sobre o uso de espécie nativas, medicinais, ornamentais e de outros usos, coletadas e referidas, em manuscritos, diários, correspondências, livros e iconografias foram perpetuadas por naturalistas como von Martius, von Spix, Humboldt, Saint Hilaire, Glaziou, dentre outros, e por artistas como por exemplo Rugendas e Thomas Ender. Estes estudiosos percorreram o Brasil, deixando o inestimável registro histórico da composição florística brasileira original das localidades pesquisadas por eles (Brandão 2008; Kury 2004).

Parte do material botânico recolhido por estes naturalistas era herborizado e outra parte acondicionado na “caixa ward” e enviado em navios aos principais centros europeus para serem submetidos a estudos mais completos, aprimorando o conhecimento científico. A história das viagens, expedições e atividades realizadas nos gabinetes de curiosidades, museus, herbários, parques e jardins botânicos eram, também, descritas em documentos e obras (Raminelli 1998). Os espécimes eram identificados e categorizados segundo seus atributos utilitários em relatos por vezes detalhados e ricos tanto em informações biológicas como culturais, revelando hábitos e costumes da população nativa e estrangeira residente na colônia.

## *Imigrantes que chegaram no Brasil no século XIX e início do século XX*

A economia agrária brasileira teve como panorama, desde os seus primórdios até a etapa aguda do capitalismo, a fase do escravismo indígena, seguida do escravismo do negro africano e posteriormente o imigrante europeu.

A chegada de grupos de imigrantes europeus no século XIX foi de grande importância no desenvolvimento do país, marcou maiores tentativas de aclimação de plantas úteis possibilitando a diversificação das culturas e o uso dessas espécies (Xolocotzi 1983).

Os primeiros imigrantes que oficialmente vieram para nossa terra foram os suíços em 1819, seguido dos alemães (1824), dos japoneses (1860), dos italianos (1870), dos pomeranos (1872), dos espanhóis (1908) e outros. Estes grupos culturais auxiliaram a enriquecer biologicamente e culturalmente o grande número de plantas utilizadas no território brasileiro (Manzali & Elisabetsky 2012).

## **Padrões Paleoetnobotânico e arqueobotânico**

A pesquisa paleoetnobotânica aborda inter-relações estabelecidas no passado, entre populações humanas e de plantas através do registro arqueobotânico, que constituem documentação que leva à Etnobotânica histórica (Renfrew 1973). A arqueobotânica e a paleoetnobotânica se ocupam dos estudos de macro e micro-restos vegetais, considerados por Barreto (1999-2000) como entidades não verbais, em contexto arqueológico, ajudando os pesquisadores a compreenderem a origem, evolução e diversificação das plantas através das idades geológicas e, conseqüentemente, o processo de evolução do nosso planeta (Medeiros 2009).

As plantas fósseis são um marco central para a concepção da organização e funcionamento das paleocomunidades, como também da evolução dos ecossistemas terrestres. Os padrões arqueológicos que definem determinada área cultural implicam em ocorrências materiais, e nos elementos ambientais que constituem a paisagem construída historicamente (Magalhães 2011, Pires & Guerra-Sommer 2011).

A localização e estudo dos assentamentos humanos são de interesse para a arqueologia histórica, que os identificam por vestígios construtivos, arqueológicos ou florísticos. Dentre estes já foram localizados registros de plantas nativas que nunca foram cultivadas nos sítios, por serem abundantes nas áreas circundantes. O mesmo não se pode dizer sobre as plantas exóticas (Paiva & Santos 2006). A invasão de áreas naturais por plantas exóticas é um dos principais fatores de degradação desses ambientes e uma das mais sérias ameaças à biodiversidade. É necessária a recuperação do conhecimento histórico que descreva a utilização de espécies nativas para promover mais pesquisas sobre sua ecologia e conservação (Giulietti *et al.* 2005; Michalski *et al.* 2010).

## **Considerações finais**

Esta breve incursão pela Etnobotânica História comprova o interesse acadêmico-científico, não só nacional como internacional, por este componente da Etnobotânica. Foi como que o passado das culturas expressasse o elemento principal; as fontes de informações comporiam as tradições orais ou escritas que corroboram as mudanças culturais entre as sociedades. Como ressalta Tavana em 2002, ao reconhecer as diferenças existentes entre sociedades, o etnohistoriador distingue que o conhecimento tradicional proporciona a base das modernas descobertas científicas e continua ajudando a facilitar novas informações.

## Agradecimento

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científica e Tecnológico (CNPq) pela Bolsa de Produtividade concedida a Luci de Senna Valle.

## Referências

- Alcides, M.M. 2005. **História naturalis Brasiliae: um estudo do Registro botânico holandês seiscentista**. 205f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA), Universidade Federal de Alagoas, Alagoas
- Alencastro, L.F. 2000. **O Trato dos Viventes: formação do Brasil no Atlântico Sul**. São Paulo, Companhia das Letras.
- Anchieta, J. de 1984. **Cartas: correspondência ativa e passiva**. São Paulo, Edições Loyola.
- Barreto M., Brandão, M.G.L. 2008. Brazilian medicinal plants described by 19th century European naturalists and in the Official Pharmacopoeia. **Journal of Ethnopharmacology** **120**(2): 141-148.
- Camargo, J.C.G. 2002. A contribuição dos cronistas coloniais e missionários para o conhecimento do Território Brasileiro. **Mercator- Revista Geográfica da UFC** **2**: 89.
- Fetz, M. 2011. Expedições científicas no século XIX: o universo da ciência e a diversidade cultural. **Caderno de Campo** **14/15**: 1-54.
- Giulietti, A.M.; Harley, R.M.; Queiroz, L.P.; Wanderley, M.G. & Van Den Berg, C. 2005. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. **Megadiversidade** **1**: 52-61.
- Harshberger, J.W. 1896. The purposes of ethno-botany. **American Antiquarian** **17**: 73-81
- Heinrich, M.; Kufer, J.; Leonti, M. & Pardo-de-Santayana, M. 2006. Ethnobotany and ethnopharmacology – Interdisciplinary links with the historical sciences. **Journal of Ethnopharmacology** **107**: 157-160.
- Hill, A.F. 1952. **Economic botany**. New York, McGraw-Hill.
- Ingold, T. 1994. From trust to domination: An alternative history of human-animal relations. Pp. 238. In: Manning, A. & Serpell, J. (Eds.). **Animals and human society: changing perspectives**. London, New York, Routledge.
- Kury, L. 2004. Homens de ciência no Brasil: impérios coloniais e circulação de informações (1780-1810). **História, Ciências, Saúde-Manguinhos** **11** (suplemento 1): 109-29.
- Leite, S. 1953. **Artes e ofícios dos jesuítas no Brasil (1549-1760)**. Lisboa, Edições Brotéria.
- Magalhães, M.P. 2013. Território cultural e a transformação da floresta em artefato social. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Humanas** **8** ( 2): 381-400.
- Manzali de Sá, I. & Elisabetsky, E. 2012. Medical knowledge exchanges between Brazil and Portugal: an ethnopharmacological perspective. **Journal of Ethnopharmacology** **142**(3): 762-768.
- Martin, G.J. 1995. **Ethnobotany. A methods manual. People and plants conservation manual**. London, Chapman and Hall.
- Medeiros, M.F.T. 2009. **Etnobotânica histórica: princípios e procedimentos**. Recife, NUPEEA/Sociedade Brasileira de Etnobiologia e Etnoecologia.
- Medeiros, M.F.T. & Albuquerque, U.P. 2012. **Dicionário Brasileiro de Etnobiologia e Etnoecologia**. Recife, NUPEEA.
- Mello Leitão, C.F. 1941. **Historia das Expedições Científicas no Brasil**. Rio de Janeiro, Biblioteca Pedagógica Brasileira, Cia. Editora Nacional.
- Michalski, F.; Norris, D. & Peres, C.A. 2010. No return from biodiversity loss. **Science** **329**: 1282.

- Morão, S.P. 1965. **Queixas repetidas em ecos dos arrecifes de Pernambuco contra os abusos médicos que nas suas capitanias se observam tanto em dano das vidas de seus habitantes.** Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar.
- Paiva, G.L. & Santos, A.C.F. 2006. Taperas e suas plantas: Etnobotânica dos Antigos Assentamentos Humanos. **Diálogos**, DHI/PPH/UEM **10**(3): 33-53.
- Pereira, N.A.; Jaccoud, R.J. & Mors, W.B. 1996. Triaga Brasilica: renewed interest in a seventeenth-century panacea. **Toxicon** **34**(5): 511-516.
- Pires, E. etaceous of Araripe Basin (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências** **83**: 409-423.
- Prestes, M.E.B. 2000. **A investigação da natureza no Brasil colônia.** São Paulo, Annablume, Fapesp.
- Raminelli, R. 1998. **Depopulação na Amazônia Colonial.** In: XI Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Anais. Belo Horizonte, ABEP.
- Renfrew, J.M. 1973. **Paleoethnobotany –The prehistoric food plants of Near East and Europe.** New York, Columbia University Press.
- Rosa, J.F.1956. Tratado único da constituição pestilencial de Pernambuco. Pp. 57-112. In: Andrade, G.O. (Org.). **Morão, Rosa e Pimenta: notícia dos três primeiros livros em vernáculo sobre a medicina no Brasil.** Recife, Arquivo Público Estadual.
- Senna-Valle, L. & Manzali, I. 2009. Etnobotânica Histórica: Uma abordagem diacrônica nos estudos etnobotânicos. Pp.10083-1087. In: Moura; C..W.N. ;Silva,T.R.S.;Giulietti-Harley,A.M. & Santos,F.A.R.(Eds).**Botânica Brasileira: futuro e compromissos/ 60º Congresso Nacional de Botânica.** Feira de Santana, Bahia
- Tavana, N. G.V. 2002. Traditional knowledge is the key to sustainable development in Samoa: examples of ecological, botanical and taxonomical knowledge **samoan Environment Forum** **3**: 16-26.
- Xolocotzi, E.H. 1983. El concepto de Etnobotanica. Pp. 12-17. In: **Memórias del Simposio de etnobotanica.** Cidade de Mexico.

# ETNOBOTÁNICA Y BIOCULTURA: NUEVOS RETOS

**Olga Lucía Sanabria Diago**

Grupo Latinoamericano de Etnobotánicos-GELA & Universidad del Cauca,  
Departamento de Biología, Línea Etnobotánica, Popayán, Cauca, Colombia.


[oldiago@unicauca.edu.co](mailto:oldiago@unicauca.edu.co)

## Evolución de enfoques en la Etnobotánica Latinoamericana

En varios eventos latinoamericanos de Etnobotánica, el Grupo de Etnobotánicos Latinoamericano (GELA), ha planteado mediante sus Reuniones Satélite, Simposios y Cursos, diversos escenarios y posibilidades de interacción entre las instancias de desarrollo de la Etnobotánica y su inserción en las realidades socioculturales de América Latina. Durante cerca de 30 años de actividades y propuestas latinoamericanas del GELA, es posible dar seguimiento regional a la evolución conceptual y metodológica de la Etnobotánica, a partir de las diferenciaciones, tendencias, debates y programas de la interdisciplina y sus aplicabilidades socioculturales y productivas. Desde sus inicios y durante el IV Congreso Latinoamericano de Botánica realizado en Medellín, Colombia en 1986, se fueron diferenciando los conceptos tanto de Botánica Económica como de Etnobotánica. El primero, considerado extractivista y colonizante, con visión utilitarista de las plantas y de los recursos vegetales con fines comerciales, bajo la concepción occidental de subordinar a los llamados sujetos y objetos de la investigación: los pobladores o informantes antes llamados *primitivos*, habitantes y miembros de las comunidades locales, conocedores de los usos vegetales. Al contrario, la etnobotánica refiere a una concepción holística, integral y vinculante de las poblaciones como culturas vivientes y actuantes, que deben participar activamente del trabajo investigativo y que éste contribuya a reevaluar y posicionar las estrategias de conocimiento, uso y manejo de las plantas en un contexto cultural y ecológico; más allá del nivel de especie propiamente dicho, como venía siendo usual encontrarlo en las listas anotadas de plantas o *check list* de plantas útiles.

La conformación del Grupo de Etnobotánicos Latinoamericano (GELA) bajo la dinámica acción de los jóvenes etnobotánicos de varios países latinoamericanos, dio un giro coordinado de nuevas acciones tendientes a fortalecer la acción social y el contexto cultural de la etnobotánica para América Latina, tal y como años después, se plasmara en la Agenda Latinoamericana de Etnobotánica y Botánica Económica para el nuevo Siglo XXI (GELA 1999).

Uno de los desafíos de la etnobotánica moderna en Latinoamérica, ha sido el abordaje de la transferencia interregional de los conocimientos etnobotánicos y el apoyo a la formación de nuevas generaciones de investigadores latinoamericanos en esta interdisciplina. El GELA (1999) enfocó el concepto de Etnobotánica Aplicada a los estudios de conservación de plantas y de la vegetación para el desarrollo sostenible en América Latina con prioridad en la gestión, así como visibilizar experiencias y procesos regionales (Lagos-Witte 2002; GELA 1999). Bajo estas metas la etnobotánica aplicada mantiene su importancia enfocando métodos de validación cualitativos y cuantitativos en el reconocimiento de los comportamientos sociales interactuando con los recursos vegetales y las dinámicas ecológicas locales, documentando la existencia de efectivas estrategias de conservación entre co-




comunidades indígenas, campesinas y más recientemente de los afrodescendientes, y la significación cultural del uso local de los recursos naturales. Estos planteamientos se integraron a las políticas de las agendas internacionales sobre conservación de la biodiversidad y a la Estrategia de conservación de especies vegetales de la Convención sobre Diversidad Biológica. Recientes enfoques de investigaciones etnobotánicas hacen énfasis en las interrelaciones de las prácticas culturales para contribuir al manejo sostenible de los recursos vegetales en los territorios étnicos, así como lograr un diálogo de saberes entre el conocimiento empírico local y el conocimiento científico occidental para desarrollar planes de conservación biológica acordes con los contextos socioculturales y económicos con beneficios locales (Sanabria & Vivas 2003).

En el ámbito educativo, se hace necesario recircular el conocimiento de la vida cotidiana rural y cultural identificando sus formas de transferencia y apropiación, mediante los procesos de producción del conocimiento y construcciones de nueva currícula para educación en contexto. En los países latinoamericanos, la etnobotánica se viene constituyendo como una interdisciplina, que pone énfasis en los contextos culturales de las plantas mediante la aproximación teórica a las formas de conocimiento, uso y manejo de las plantas y las propuestas metodológicas de investigación comunitaria. En las últimas décadas, estudios de caso y experiencias, tanto locales como regionales, han contribuido a la reflexión sobre la necesidad de construir un contenido temático educativo común para la enseñanza de la etnobotánica en regiones americanas con gran diversidad ecológica, florística y étnica.

Los resultados del Simposio sobre Etnobotánica: Expectativas de los Sectores Sociales planteados en el VI Congreso Latinoamericano de Botánica en Mar del Plata en 1994, se destaca el rol protagónico del etnobotánico en el trabajo de revaloración sociocultural de las comunidades locales. Esto involucra un reconocimiento de los derechos de propiedad intelectual de las sociedades involucradas en los procesos de investigación, el enfoque de la conservación de la diversidad vegetal como parte de las acciones comunitarias y valorar la importancia de la inserción de la etnobotánica en los procesos de educación que desarrolle capacidad de liderazgo tanto a nivel académico en la educación formal superior como en la no formal, generando la coparticipación de las comunidades con retribución de forma equitativa, así como elevar la capacidad académica-investigativa de los profesionales latinoamericanos para que realicen investigaciones en y desde sus propias regiones (Lagos-Witte 2004). Una Alianza entre el GELA y el New York Botanical Garden a través del Programa de Estudios de Botánica Económica en Latinoamérica y Caribe (GELA- PREBELAC 2001), logró reforzar el componente sociocultural e investigaciones en y desde las propias regiones, al otorgar becas para realizar trabajos o proyectos de campo en etnobotánica, con énfasis en estudios de plantas de interés cultural y social con metodologías multidisciplinarias, que destacaran las relaciones entre la etnobotánica y las comunidades locales de la región americana.

Como parte del Convenio sobre la Diversidad Biológica en América Latina, el GELA participa en la propuesta y desarrollo de la Estrategia Global para la Conservación de Especies Vegetales, tras la Decisión de Aprobación de las Partes VI/9 realizada en la Haya 2002. En este documento se destaca la importancia del conocimiento tradicional asociado a la conservación de las plantas, como planteamiento central de los objetivos de su implementación, plasmados en las Metas 9, 13, 14, 15 y 16 de dicha Estrategia, reconociendo las interrelaciones entre la conservación de la biodiversidad, la diversidad de culturas y prácticas locales para el uso sustentable, tal y como se indica textualmente en la Meta 13: *“La desaparición de los recursos vegetales está asociada al conocimiento local y nativo y a las prácticas e innovaciones que soportan su sustento, alimento local y seguridad en salud”*.

Las tendencias actuales y desafíos de la etnobotánica en la realidad latinoamericana fueron planteadas por Sonia Lagos-Witte en su conferencia magistral del VIII Congreso Latinoamericano y III Colombiano de Botánica realizado en Cartagena en 2004, quien abordó las crisis entre la diversidad biológica y cultural en medio de la pérdida de valores éticos y profundos conflictos sociales de



la región. Los retos: el papel de la etnobotánica y de la botánica económica para generar programas y proyectos que resuelvan los problemas relacionados con el aprovechamiento y conservación de la diversidad vegetal, en un marco de análisis latinoamericano que propicie formas de dialogo intercien-  
tífico y comunitario del quehacer etnobotánico.

En el apoyo del Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF) Alan Hamilton y el GELA a la cabeza de Sonia Lagos-Witte organizaron un Taller de Trabajo sobre el Desarrollo Curricular de la Etnobotánica Aplicada en Febrero de 2000 en el Jardín Botánico de Republica Dominicana generando el documento internacional *The purposes and Teaching of Applied Ethnobotany* (Hamilton *et al.* 2000). Esta propuesta que dio un giro a la interdisciplina, planteó los siguientes aspectos de investigación : estudios de las relaciones entre pobladores locales y áreas protegidas, conocimientos locales sobre los recursos vegetales nativos, formas locales de apropiación y aprovechamiento de los vegetales, comprensión de las interrelaciones etnoecológicas, nuevos métodos interdisciplinarios de abordajes sociales, nuevos métodos cuantitativos, promoción de las culturas y las tradiciones de los grupos étnicos, campesinos y agricultores con un enfoque de conservación integral.

El Manual de Herramientas Etnobotánicas relativas a la Conservación y el Uso Sostenible de los Recursos Vegetales (Lagos-Witte *et al.* 2011) es una contribución hacia el logro del Objetivo 3, Meta 13 y el Objetivo 5, Meta 15 de la Estrategia Global para la Conservación de las Especies Vegetales. Este manual es producto de tres actividades que la Red Latinoamericana de Botánica (RLB) organizó como parte de los compromisos adquiridos en el proyecto Red Latinoamericana de Botánica: Fortaleciendo las Capacidades Profesionales e Institucionales para el Desarrollo de las Ciencias Vegetales y la Conservación de la Biodiversidad en América Latina, financiado por la Organización de Estados Americanos (OEA), a través del Fondo Especial Multilateral del Consejo Interamericano para el Desarrollo Integral (FEMCIDI). El manual comprende los siguientes aspectos: a) un marco teórico-conceptual de la Etnobotánica y su contribución a la conservación de los recursos naturales y el conocimiento tradicional, b) experiencias etnobotánicas latinoamericanas sobre manejo de recursos vegetales. Según las coautoras, constituye una publicación dirigida a los gobiernos de los países latinoamericanos, organizaciones no gubernamentales, programas de conservación, investigadores y universidades, con una invitación a ampliar los espacios de debate, capacitación e investigación en torno al manejo de los recursos naturales y la conservación del conocimiento tradicional, como una base de entendimiento indispensable para la conservación de las plantas. Dar a conocer el valor del conocimiento local e indígena como fundamento para desarrollar estrategias de conservación y uso sostenible de la diversidad vegetal y abrir el debate sobre los nuevos retos basados en el conocimiento y la experiencia, son los nuevos desafíos que se plantearon en la interdependencia entre la conservación de la diversidad vegetal y el bienestar de los pobladores latinoamericanos (Lagos-Witte *et al.* 2011).

La equidad, la justicia social en el acceso a los recursos vegetales y la participación de los beneficios para las comunidades locales, fueron protocolizados en Nagoya, Japón en 2010 como parte de las acciones del Convenio sobre Diversidad Biológica (10 años después) previamente ratificados en el Simposio sobre la Estrategia Global organizado durante el X Congreso ALB en Chile 2010, cuyo documento indica textualmente que: "Las disposiciones del Protocolo relativas al acceso a los conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas y locales cuando dichos conocimientos están relacionados con recursos genéticos fortalecerán la capacidad de esas comunidades para beneficiarse del uso de sus conocimientos, innovaciones y prácticas. Al promover el uso de recursos genéticos y de los conocimientos tradicionales correspondientes, y al fortalecer las oportunidades para compartir de manera justa y equitativa los beneficios que se deriven de su uso; el Protocolo generará incentivos para conservar la diversidad biológica y para utilizar de manera sostenible sus componentes, y mejorará aún más la contribución de la diversidad biológica al desarrollo sostenible y al bienestar del ser humano"(Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica 2011).

## Nuevos Enfoques: Etnobotánica y Biocultura

En la última década, el más reciente enfoque de la biocultura proviene de una integración entre las dimensiones biológica y cultural. Las prácticas culturales de la apropiación de plantas, han visibilizado el protagonismo de la otredad y la importancia del reconocimiento de los otros saberes, pensamientos y universos lo que aunado al reconocimiento de los pueblos indígenas como naciones ancestrales y de los afrodescendientes en sus entornos territoriales y conocimientos tradicionales, es posible converger políticas de conservación con políticas públicas. La etnobotánica entendida como la interrelación plantas-pueblos en sus dimensiones ambientales, sociales e históricas mediados por las culturas (Hernández-X, 1983) ha ido evolucionando de manera contextualizada en la región americana. El énfasis en los conocimientos tradicionales, transita hacia el fortalecimiento de la recuperación de la memoria biocultural (Toledo & Barrera-Bassols 2008) donde se plantea como riqueza la biodiversidad (flora y fauna), la etnodiversidad (lenguas y pueblos) y la agrodiversidad (áreas de domesticación y diversificación de plantas y animales).

El enfoque biocultural es incluyente en cuanto al reconocimiento de la pluriethnicidad y multiculturalidad de las comunidades que en los diferentes estados pluriétnicos de Latinoamérica, están emergiendo como reconocimiento de las luchas reivindicativas por su autonomía, igualdad y dignidad de todas las culturas connacionales, el principio de la autonomía normativa y judicial de los pueblos o naciones, derechos a la autodeterminación, a la supervivencia, a la identidad, a la integridad y a la consulta informada o consentimiento previo de la comunidad indígena o afrodescendiente sobre los impactos externos a los recursos naturales de sus territorios. El concepto biocultural describe un sistema que comprende los conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades étnicas y locales, colectivamente mantenidas e incorporadas a sus territorios tradicionales mediante los conocimientos asociados, incluyendo los recursos naturales y la diversidad genética, de especies, cultivos y ecosistemas así como los valores culturales, espirituales y las leyes propias que han desarrollado en el contexto socio-ecológico de sus comunidades. Esto es, elementos que han sido construidos por las poblaciones locales como parte de los sistemas de conocimiento, sus valores cosmológicos o cosmovisiones acerca de la integración de sus propios mundos.

Así, la etnobotánica con enfoque biocultural, integraría los universos o cosmologías a las visiones de uso, manejo, conocimiento y lugares de utilización de los recursos vegetales o de las plantas útiles en sus dos herramientas metodológicas contextualizadas tanto en lo cualitativo como en lo cuantitativo, resultando un análisis bajo las realidades socioecológicas y culturales de los pueblos de América Latina que se encuentran amenazados de extinción tanto biológica como cultural. Este es el concepto de Patrimonio Biocultural (Boegue 2008) para caracterizar y proteger el legado de naturaleza y cultura de los pueblos ancestrales.

Todas las manifestaciones de concepciones, conocimientos, usos y manejos de las plantas constituyen parte del patrimonio biocultural. La Etnobotánica del siglo XXI está llamada a estudiarlo, conocerlo y comprenderlo desde una perspectiva descolonizada y reflexiva que de manera participativa permita su protección, defensa y fortalecimiento en las naciones y un diálogo intercultural, bajo el nuevo Axioma biocultural: la diversidad biológica y cultural son mutuamente dependientes y geográficamente coexistentes (Vásquez-Dávila 1992). Según la Red de Etnoecología y Patrimonio Biocultural de México (CONACYT, 2012), la biodiversidad del mundo sólo será preservada si se conserva la diversidad de las culturas, y viceversa, afirmación de esta Red basada en cuatro grupos de evidencias a saber : (1) el traslape geográfico entre la riqueza biológica y la diversidad lingüística; (2) el traslape entre los territorios indígenas y las regiones de alto valor biológico (actuales y proyectados); (3) la reconocida importancia de los pueblos indígenas como principales pobladores y manejadores de paisajes bien conservados, y (4) la manifestación de un comportamiento orientado al uso conservacionista entre los pueblos indígenas, derivado de su conjunto de creencias, conocimientos y prácticas. Los



productos más evidentes de la interacción entre la diversidad biológica y la diversidad cultural, como procesos interdependientes y correlacionados en tiempo, son el surgimiento de nuevas especies de plantas y animales así como de transformaciones de paisajes agroforestales y culturales mantenidos con tecnologías tradicionales adecuadas a la resolución de las situaciones ambientales (CONACYT, 2012). México, Brasil y Colombia se encuentran entre los primeros países con mayor agrodiversidad, biodiversidad y etnodiversidad del Planeta (Toledo & Barrera-Bassols 2008), los cuales han sido documentados en su herbolaria, plantas cultivadas y cultivares, artesanías, culinarias y diferentes expresiones culturales y artísticas como grandes potenciales para los modelos de desarrollos locales sostenibles.

## Conclusiones

El nuevo concepto de la biocultura permite la integración de las dimensiones cultural y biológica que bajo el dialogo de saberes y la interlocución intercultural de científicos, académicos, estudiantes e instituciones públicas de la conservación de las plantas, puedan fortalecer los conocimientos sobre los desarrollos locales de los productos locales acorde con las potencialidades, usos y costumbres de los pueblos y sus desarrollos endógenos, locales, microempresariales y ambientalmente sostenibles. El concepto de biocultura responde a las nuevas dinámicas socioculturales de América Latina y políticas de la comprensión de las cosmogonías y significaciones del entorno ambiental de los pueblos y sus territorios. Así mismo, enlaza la dicotomía conceptual naturaleza-cultura, ampliamente discutida desde el siglo pasado, en su unicidad y no en su separación, en donde los portadores de la cultura y de la conservación de los recursos naturales, es decir, los pueblos ancestrales, integran en su memoria biocultural las razones del buen vivir.

## Agradecimientos

A todos los compañeros del Grupo de Etnobotánicos Latinoamericano (GELA) por las experiencias, aprendizajes y logros obtenidos, a las diferentes comunidades ancestrales en especial de México y Colombia con quienes el aprendizaje ha sido vivificante y a la Universidad del Cauca, departamento de Biología, por el permanente apoyo académico e institucional.

## Referencias

- Boege, E. 2008. **El Patrimonio Biocultural de los Pueblos Indígenas de México**. Instituto Nacional de Antropología e Historia y Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México.
- Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología de México. 2012. **Red de Etnoecología y Patrimonio Biocultural**. ADN Editores, S.A. de C.V. México.
- GELA & Prebelac Alliance. 2001. **Program For Ethnobotany and Economic Botany In Latin America and The Caribbean-Prebelac II**. Proposal 2002-2007.
- Grupo Etnobotánico Latinoamericano. 1999. Agenda Etnobotánica Latinoamericana Siglo XXI. Documento de Trabajo. Preparado por Claudio Pinheiro, Enrique Forero, Sonia Lagos-Witte, Javier Caballero, Olga Lucía Sanabria. Bogotá, Colombia.
- Hamilton, A.C. Pei S; Kessy, J. Khan, A. Lagos-Witte, S. & Shinwari, Z.K. 2003. The purposes and teaching of Applied Ethnobotany. **People and Plants Working Paper 11**. WWF, Godalming, UK.
- Hernández, E. 1983. El concepto de etnobotánica. Pp 13-18 In: Barrera, A. (Eds.). **La Etnobotánica: tres puntos de vista y una perspectiva**. Cuaderno de Divulgación 5. INIREB, Xalapa, Veracruz, México.

- Lagos-Witte, S. 2004. Tendencias actuales y desafíos de la etnobotánica en la realidad latinoamericana. Pp. 29-41, In: Rangel-Ch. O *et al.* **Memorias Octavo Congreso Latinoamericano y Segundo Colombiano de Botánica**, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Lagos-Witte, S., Sanabria, O.L., Chacón, P & García, R (Eds.). 2011. **Manual de Herramientas Etnobotánicas relativas a Conservación y Uso Sustentable de los Recursos Vegetales**. Chile. Red Latinoamericana de Botánica.
- Sanabria, O.L & Vivas, H. 2003. **Factores sociales y culturales que deben ser tenidos en cuenta en la reglamentación y aplicación de la decisión 391 de la CAN sobre política de acceso a los recursos genéticos en Colombia**: Estudios de caso en comunidades campesinas e indígenas del Cauca. Colombia, Instituto Alexander Von Humboldt.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2011. **Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se Deriven de su Utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica**: texto y anexo. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Impreso en Canadá.
- Toledo, V. M. & N. Barrera-Bassols. 2008. **La Memoria Biocultural**: la importancia ecológica de los saberes tradicionales. Icaria Editorial. Barcelona.
- Toledo, V. M. & N. Barrera-Bassols, 2009. A etnoecología: uma ciência pós-normal que estuda as sabedorias tradicionais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente 20**: 7-27
- Vázquez-Dávila, M. A. 1992. Etnoecología para un México profundo. **América Indígena 1**: 169-201.



# 1000 TRANSCRIPTOMES AND THE EVOLUTION KEY FEATURES IN THE RISE OF LAND PLANTS

**Dennis Stevenson**

The New York Botanical Garden, USA.

[dws@nybg.org](mailto:dws@nybg.org)

Data from one thousand land plant transcriptomes has been produced. The challenges involve the selection of species for sampling and developing a method to successfully extract RNA from across the land plant tree of life. The selection of species centered around three criteria: having representatives of clades that would encompass taxonomic diversity, making sure the species represent major innovations on the tree of life, and if possible represent an economic or otherwise important species. Additionally, an attempt was made to select at least two species from major lineages; one that would be sister to that lineage and another that would represent derived features within that lineage. In order to make suitable comparative data, emerging leaves from young shoots were sampled across the land plants and the thallus from hornworts and liverworts. This strategy allows for phylogenomics and the comparative genomics of leaf development. With respect to the latter, species were chosen that reflected the morphological diversity of leaves. For example, those species with phyllodes in mosses, ferns, gymnosperms, and angiosperms were sampled, as were changes from compound leaves to simple leaves in ferns and to needles in gymnosperms. Some key questions being addressed by this comparative transcriptome data are the comparison of simple lycophyte leaves with Cupressaceae leaves, the homoplasious occurrence of phyllodes throughout the land plants. Same development, but what about the genes involved? Another is the transformation series in a clade of cycads from once pinnate to varying degrees of multipinnate that is also a transformation series within individual plants. We should also be able to begin to sort housekeeping genes from those involved in the evolution of the development that we see in phenomics. Other questions to be addressed are the switch from dominant gametophytes to dominant sporophytes by sampling both haploid and diploid generations in a selection of plants chosen to elucidate this major shift in life-history, adaption and diversification to a land habit and habitat, indeterminate growth of the sporophyte, the acquisition of vascular tissue and equivalents, and the independent development of heterospory in several lineages. Of particular interest in gymnosperms is the origin of the integumented megasporangium (ovule), the aril, changes from compound leaves to needles, various forms of anomalous secondary growth, changes from stachyosporous to phyllosporous, and the nature of the freenuclear stage and susewuent cellularization in both the megagametophyte and embryo in lycophytes and gymnosperms..

# CLASS III HD ZIP ANGIOSPERM LEAF GENES, THE HISTORY THAT FERNS AND LYCOPHYTES TELL: ANCESTRAL ROLE AND THEORIES OF LEAF EVOLUTION

**Alejandra Vasco<sup>1,2</sup>, Tynisha Smalls<sup>2</sup>, Robbin C. Moran<sup>2</sup>,  
Dennis W. Stevenson<sup>2</sup> and Barbara A. Ambrose<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma Metropolitana, Instituto de Biología, México DF, México.

<sup>2</sup>The New York Botanical Garden, Bronx, USA.

[avascog@gmail.com](mailto:avascog@gmail.com)

Despite the extraordinary significance the origin of leaves had for life on earth, the evolution and development of leaves remains vigorously debated. In particular, more than a century of paleobotanical, morphological, and phylogenetic research has not resolved the question of leaf homology in vascular plants. Recently, comparative developmental genetic studies of lycophytes and seed plants have reached opposing conclusions on the conservation of a leaf developmental program in vascular plants. In addition, differing interpretations of morphology and phylogeny in ferns have played an important role in this debate. Here we report the expression patterns of Class III HD-Zips in ferns and thereby fill a crucial gap in our understanding of leaf evolution. We show there is a conserved leaf developmental mechanism between ferns and seed plants (euphyllophytes) and that neofunctionalization of Class III HD-Zips likely occurred in the ancestor of euphyllophytes. Importantly, we demonstrate Class III HD-Zip expression in the provascular tissue of *Psilotum* enations, confirming these structures are reduced leaves. Furthermore, we report Class III HD-Zip expression patterns in lycophyte and fern sporangia and show that these developmental regulators have conserved expression patterns during initiation of lateral primordia (leaves or sporangia) and this expression is maintained throughout sporangia development in lycophytes and ferns. These results support an ancestral role of Class III HD-Zips in sporangium development. We hypothesize a sporangium-specific developmental program was co-opted independently for the development of microphylls and megaphylls.

# GENE EXPRESSION ASSOCIATED WITH LEAF SHAPE DIVERSIFICATION OF TENDRILLED LEAVES IN BIGNONIEAE (BIGNONIACEAE)

**Mariane S. de Sousa-Baen and Lúcia G. Lohmann**

<sup>1</sup>Reference Center on Environmental Information, Brasil.

[m.sousabaena@yahoo.com](mailto:m.sousabaena@yahoo.com)

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

[llohmann@usp.br](mailto:llohmann@usp.br)

Angiosperm leaves have undergone major functional and structural modifications over time, and currently exist in a wide diversity of forms, sizes, and arrangements. For example, in the tribe Bignonieae (Bignoniaceae), leaves are generally 2-3-foliolated, and the terminal leaflet is often modified into tendrils. These tendrils present varied morphologies (simple, bifid, trifid or multifid) and are thought to have been involved in the diversification of Bignonieae. Despite the importance of tendrils for climbing plants, little is still known about the biology of tendrils in the angiosperms. To date, no data is available on the genes that control tendrilled-leaf development in species other than pea (*Pisum sativum*). Even though *KNOX1* genes control leaf development in the majority of compound-leaved angiosperms, in pea, *KNOX1* is completely excluded from the leaf primordium and its development is regulated by *LEAFY/FLORICAULA* (*LFY/FLO*). This observation suggests that the development of other tendrilled-leaves might also be exclusively regulated by *LFY/FLO* as well. This study investigated the evolution and development of tendril types in Bignonieae in order to further understand how changes in leaf morphogenesis led to current patterns of variation in tendril morphology. We further analyzed the expression patterns of *SHOOTMERISTEMLESS* (*STM*, *KNOX1* gene), *PHANTASTICA* (*PHAN*) and *LFY/FLO* during leaf development in three representatives of Bignonieae with different tendril types in order to better understand the structure, origin and genetic basis of leaf tendrils in this plant clade. Our results demonstrate that leaves in Bignonieae develop acropetally, as well as indicates that trifid tendrils are ancestral in the tribe, with the evolution of other tendril types involving heterochronic shifts in the leaf basic developmental pathway. Furthermore, transcripts of *STM* were detected in developing leaves, revealing that tendrilled leaves of Bignonieae develop differently from those of pea. The anatomical analysis revealed that tendrils are bilaterally symmetrical and present some characteristics that are similar to leaflets, corroborating earlier suggestions that tendrils indeed represent modified leaflets. This observation was further reinforced by the expression pattern of *PHAN* (an adaxial identity gene), as *PHAN* transcripts were confined to the adaxial domain of the tendril primordia in branched-tendrilled species, in a pattern very similar to that observed in leaflet primordia. In *B. callistegioides*, a simple-tendrilled species, *PHAN* was expressed throughout the entire tendril, indicating a certain degree of disruption in the establishment of the adaxial domain. The differences encountered in the expression pattern of *PHAN* among species with different tendril types indicate a possible correlation of the expression of *PHAN* with tendril branching. Furthermore, it suggests an important role for *PHAN* in the establishment of tendril polarity and in the rise of the various tendril types encountered in Bignonieae. In addition, the pattern of expression of *LFY/FLO* in developing leaves has led us to infer that *LFY/FLO* may present an important role for the separation of new organs from meristematic zones.



# GENETIC BASIS OF THE EVOLUTION OF FLORAL TRAITS ASSOCIATED WITH POLLINATOR SHIFTS

**Javier Fuertes Aguilar & Maria Angélica Bello**

Plant Evolutionary Biology Group. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid, Spain.

[jfuertes@rjb.csic.es](mailto:jfuertes@rjb.csic.es)

The co-evolution of Angiosperms and pollinators can be traced back to the lower Cretaceous. Along the history, the evolution of phenotypic traits driven by pollinators associated to the establishment of reproductive barriers has represented a key step for speciation and diversification among flowering plants. Many studies based on molecular phylogenetics have shown the occurrence of multiple changes in pollinators that have triggered evolutionary episodes in plants, ranging from single speciation events to adaptive radiations. Until very recent, the study of floral phenotypic traits from an evolutionary perspective was restricted on how floral characters have changed in a parallel fashion to the pollinator shift using phylogenetic trees output.

The arrival of studies integrating developmental genetics and evolution shed light on the genetic basis of floral traits interacting with pollinators. The identification of those genes is nowadays studied from different perspectives, in many cases following non-exclusive approaches: comparative transcriptomic, QTL's with fine-scale genetic mapping and candidate genes approach (CGA).

Here we present a series of case studies based on CGA where the evolution of reproductive traits is coupled with pollinator shifts. For the sake of clarity, we can analyze the phenotype-genotype changes linked to different pollination syndromes into three functional phases depending on the type and timing of the interaction between the plant and the pollinator: Attraction, Accessibility and Reward.

Pollinator attraction based on colour has been thoroughly studied in many lineages. For example, the role played by regulatory genes in the biosynthetic pathways of anthocyanins in the corolla pigment composition has been well studied among Ranunculaceae and Plantaginaceae. Recent studies in Amaryllidaceae and Solanaceae also reveal an important role for scent composition changes associated to the expression of VOC regulatory genes.

The genes regulating the asymmetry of the floral whorls play a significant role in the building of pollination syndromes of many families of Angiosperms. The role of differential expression of the CYCLOIDEA gene family of transcription factors in Plantaginaceae and Asteraceae is linked to changes to pollen display and nectar accessibility that determine the type of pollinator.

As for the pollinator reward, the study of nectary development and the role of CRC family of genes in families like Malvaceae and others reveal that homeotic changes in the expression of those genes have dramatic changes in organ position. The volume, concentration and composition of nectar, an important component of pollination syndromes is however a more complex set of traits, as studied in Solanaceae.

An interesting issue is how the genes responsible for this three phenotypic components integrate into the complex plant genomes and how do they interact when critical evolutionary events for plants like hybridization and/or polyploidy occur.



# DEVELOPMENTAL PATTERNS AND CANDIDATE FLORAL ORGAN IDENTITY GENES IN THE HIGHLY SYNORGANIZED FLOWERS OF *ARISTOLOCHIA* (ARISTOLOCHIACEAE)

**Favio González<sup>1</sup> and Natalia Pabón-Mora<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

[fagonzalezg@unal.edu.co](mailto:fagonzalezg@unal.edu.co)

<sup>2</sup>Universidad de Antioquia, Colombia.

[npabonmora@biologia.udea.edu.co](mailto:npabonmora@biologia.udea.edu.co)

**A** *ristolochia fimbriata*, a procumbent herb that grows in temperate South America, is a key candidate for evo-devo studies because it is self-compatible, easy to grow, and has a small genome size and a low ( $2n=14$ ) chromosome number. The species possesses the highly elaborate flowers that characterize the genus *Aristolochia*, including a monosymmetric petaloid calyx, a 5 or 6-merous gynostemium and an inferior ovary from which a dehiscent capsule is formed. Developmental studies show that flowers of *Aristolochia* undergo early perianth monosymmetry (which does not affect the gynostemium) by unequal degree of fusion between the median and the lateral sepal primordia, and unequal elongation of the upper and the lower flanks of the perianth. In addition, the gynostemium appears to be a congenital fusion of stamens and styles. Given the phylogenetic position of the Aristolochiaceae, this reproductive syndrome is unique among basal angiosperms, and pivotal to a better understanding the role of MADS-box ABCE genes during early flower evolution. Our analyses of candidate genes in *A. fimbriata* indicate that the species possesses one copy of class A genes, two copies of class B and C genes, and three copies of class E genes. Expression data of some of these genes support the sepaloid nature of the perianth in *Aristolochia*, and the presence of both staminal and carpellary tissues forming the gynostemium. We also identified AGL6 as a novel candidate gene to further investigate perianth identity in basal angiosperms.



# FLORAL EVOLUTION IN PANDANALES WITH EMPHASIS IN TRIURIDACEAE

**Alma Piñeyro Nelson, Katya Frank Hoeflich, Esteban Martínez Salas,  
Eduardo Flores Sandoval, José Dávila Velderrain,  
Chelsea D. Specht and Elena R. Álvarez-Buylla**

University of California - Berkeley.

[almapineyro@gmail.com](mailto:almapineyro@gmail.com)

**T**he order Pandanales currently comprises five monocot families that are consistently grouped together in phylogenetic analyses, but whose affinities remain unstable. This circumstance has hindered efforts to test hypotheses of homology among the reproductive axes of its members. The Pandanales include families like Pandanaceae and Cyclanthaceae that bear partial condensed inflorescences; Velloziaceae and Stemonaceae, that develop true flowers, while the nature and identity of the floral axes of the Triuridaceae has been under debate, especially for the neotropical genus *Lacandonia*.

In this work we investigated the phylogenetic relationships within the Pandanales using a combined data matrix (molecular markers 18S and *atpA* plus 59 morphological characters) under both a Maximum Parsimony (MP) and a Bayesian Inference (BI) approach. Using a resolved BI phylogeny, we further explored the most likely character state of the Most Recent Common Ancestor (MRCA) for the order and the internal nodes leading to the Triuridaceae. Our analyses suggest that Pandanales with condensed inflorescences (Pandanaceae and Cyclanthaceae) are derived within the order, and that the MRCA of both Pandanales and Triuridaceae had true flowers. Within the Triuridaceae, the neotropical tribe Triurideae has a complex evolutionary history that likely included changes in the gene regulatory networks underlying floral development. Taken together, these phenomena could have enabled the emergence of the homeotic flowers of *Lacandonia*.





# TRANSCRIPTOME PROFILING AND FLOWER MORPHOLOGICAL EVOLUTION IN GINGERS

**Roxana Yockteng, Ana M. Almeida and Chelsea Specht**

University of California - Berkeley

[ryockteng@gmail.com](mailto:ryockteng@gmail.com)

The plants of the order Zingiberales provide a good system to study diversity of floral morphology. These species present a great variation in floral organs; especially, the increase of petaloid organs in their flowers makes them exceptionally interesting. The wide diversity in its floral forms is associated with specific pollination syndromes. The families of this order show an evolutionary reduction in the number of fertile stamens resulting in changes in the morphology of floral organs in both petal and stamen whorls. The families Musaceae, Strelitziaceae, Lowiaceae and Heliconiaceae (known as the 'banana families') maintain five or six fertile stamens. The more derived families in the phylogeny, the 'ginger families', have a highly reduced number of fertile stamens; Zingiberaceae and Costaceae have only one fertile stamen, and families Cannaceae and Marantaceae have only 1/2 fertile stamen (Fig 1). In these latter families, the infertile stamens are transformed into laminar staminodes that are fused in Costaceae and Zingiberaceae forming the labellum. This inverted correlation between stamen petaloid morphology and fertility suggests a change in the regulatory patterns of genes that control the development of stamens and petals.

We would like to understand the role of changes in gene regulatory networks in shaping floral morphology in this group. In order to study the genes (and their interactions) regulating the floral forms, we integrated next-generation sequencing techniques (NGS) in our flower development studies to better understand the GRN controlling the cell fate determination during flower development. The new sequencing tools are particularly valuable in non-model systems, such as the Zingiberales, because they provide enough genomic information necessary for the expression analysis. These techniques, in particular RNA-seq, are enabling us to obtain massive amounts of information pertaining to the genes expressed during flower development and generating a molecular profile for each floral organ. The transcriptomic/RNA-Seq data provides the raw material for identifying homologs of genes involved in the processes of regulating cell and floral organ differentiation and morphogenesis, determining copy number and expression patterns. Our goal will be to generate organ-specific GRNs by linking these genes together.



# CO-OPTION OF THE POLARITY NETWORK SHAPES FILAMENT MORPHOLOGY IN THE ZINGIBERALES

**Ana Maria R Almeida, Roxana B. Yockteng and Chelsea D. Specht**

University of California - Berkeley.

[anagaivota@gmail.com](mailto:anagaivota@gmail.com)

Laminar expansion is a widespread phenomenon during lateral organ development in angiosperms. In leaves, for example, laminar expansion occurs as a result of balanced abaxial-adaxial gene expression. It has been shown that laminar development, of the type observed in leaves and most floral organs, is dependent on the proper specification of abaxial and adaxial identity, and that disruption of either the abaxial or adaxial signaling pathways tends to produce a mutant phenotype of radialized leaves. The molecular processes implicated in laminar expansion in plants – the ‘abaxial-adaxial juxtaposition hypothesis’ – is described as the contact zone of abaxializing (e.g., *YABBY* genes, *KANADI* genes) and adaxializing (e.g., *REVOLUTA*, *PHABULOSA*) gene products, where laminar outgrowth is initiated at this contact zone. Here, we present data that supports the idea that the abaxial-adaxial polarity gene network (GRN) was co-opted to shape filament morphology during stamen morphological evolution in Zingiberales. The Zingiberales is an order of 2,500 tropical monocot species, roughly divided into the basal banana group (comprising the families Musaceae, Strelitziaceae, Lowiaceae, and Heliconiaceae), and the ginger clade (formed by the sister families Zingiberaceae and Costaceae, and Marantaceae and Cannaceae). The morphological evolution of the Zingiberales flowers shows a striking correlation between the reduction of the number of fertile stamens, and increased petaloidy, at the base of the ginger clade. Transcriptome data from *Costus spicatus* and *Musa acuminata* filaments show a 10-fold overexpression of *Arabidopsis thaliana* YABBY2/5 ortholog in the *Musa acuminata* radial filament when compared to the *Costus spicatus* laminar filament, supporting the idea that disruption of a balanced ab-ad gene expression leads to radialization of the filament. To further support our argument, we also compared our results with gene expression data from the filament of *Brassica rapa* – an eudicot rosid from the order Brassicales. Ab-ad polarity gene expression in the radial *Brassica rapa* filament is consistent with that found in the radial filament of *Musa acuminata*, providing further evidence for the involvement of the ab-ad polarity network in filament morphology not only in the Zingiberales but also across angiosperms.

# EVOLUTION OF THE FLOWER AND FRUIT DEVELOPMENTAL NETWORKS IN BASAL VS. CORE EUDICOTS

**Natalia Pabón-Mora<sup>1,2</sup>, Barbara Ambrose<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia, Instituto de Biología, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>The New York Botanical Garden, Genomics program, Bronx, New York, USA.

[nlpabonmora@gmail.com](mailto:nlpabonmora@gmail.com)

Fruits are one of the most incredible examples of extreme differentiation throughout ontogeny, as despite the fact that they all form from the gynoecia (and sometimes accessory parts), they develop into incredibly plastic structures for seed dispersal. The genetic mechanisms regulating dry fruit development and opercular dehiscence have been identified in *Arabidopsis thaliana*, and functional evidence suggests that they are fairly conserved across Brassicaceae.

In the bicarpellate silique, valve elongation and differentiation is controlled by *FRUITFULL* (*FUL*), that antagonizes *SHATTERPROOF1-2* (*SHP1/ SHP2*) and *INDEHISCENT* (*IND*) at the dehiscence zone, where they control normal lignification. *SHP1/2* are also repressed by *REPLUMLESS* (*RPL*), responsible for replum formation. Similarly, *FUL* indirectly controls two other factors *ALCATRAZ* (*ALC*) and *SPATULA* (*SPT*) that function in the proper formation of the separation layer. Some of these transcription factors are known to be the result of Brassicaceae specific duplications, others seem to be the result of duplications coinciding with the origin of the core eudicots.

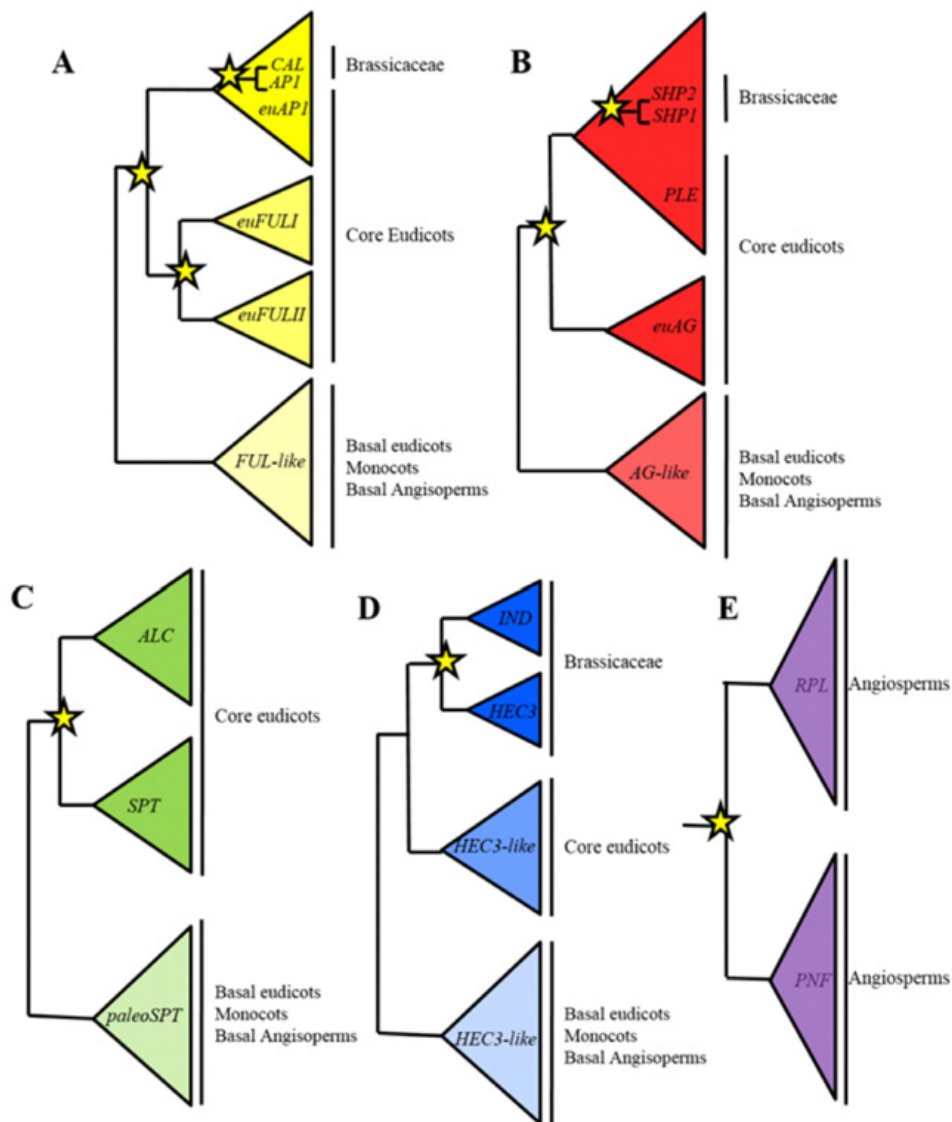
For instance, *FUL* is a member of the *APETALA1/FRUITFULL* gene lineage, better known for the roles of *AP1* in floral meristem and perianth identity (A-class). This lineage is angiosperm specific and underwent a major duplication with the origin of the core eudicots resulting in the euAP1 and the eu*FUL* clades (Fig 1A). Basal eudicots, monocots and basal angiosperms all have pre-duplication *FUL*-like proteins. On the other hand, *SHP1* and *SHP2* are *AGAMOUS* paralogs and Brassicaceae-specific duplicates belonging to the C-class [*AGAMOUS* (*AG*)/*SHP*] MADS-box gene lineage (Fig 1B).

Thus, most core eudicots only possess one *SHP* and one *AG*, whereas basal eudicots, monocots, basal angiosperms and even gymnosperms only have paleo pre-duplication *AG* genes. Likewise, *ALC* and *SPT* and *IND* are the result of several duplications in different groups of the bHLH family of transcription factors, but duplications had not been explored in detail. We have performed a comprehensive search of *IND*, *ALC*, *SPT* and *RPL* homologs across core-eudicots, basal eudicots, monocots, basal angiosperms and gymnosperms (as an outgroup).

We show that *ALC* and *SPT* are the result of a major duplication at the base of the core eudicots, and that basal eudicots, monocots and basal angiosperms have only paleo *SPT/ALC* genes (Fig 1C). *IND* genes are most closely related to *HECATE3* (*HEC3*) genes and they are the result of a Brassicaceae specific duplication, which means that other core and basal eudicots, as well as monocots and basal angiosperms only have the pre-duplication *HEC3*-like homologs (Fig 1D). Finally, the homeodomain *RPL* genes are closely related with the *PNF* (*POUND-FOOLISH*) genes and are the result of an angiosperm specific duplication, hence all angiosperms have at least one *RPL* and one *PNF* gene (Fig 1E). Based on this data, it is unclear whether this gene regulatory network can be extrapolated to fruits outside of the Brassicaceae.

Functional evidence from *Anthirrhinum* (Plantaginaceae), *Solanum* (Solanaceae) and *Vaccinium* (Ericaceae) in the core eudicots, as well as *Papaver* and *Eschscholzia* (Papaveraceae, Basal Eudicots) suggests that at least *FUL* orthologs have a conserved role in regulating proper fruit development. *euFUL* and *FUL-like* genes control proper pericarp cell division and elongation, endocarp identity and promote proper distribution of bundles and lignified patches after fertilization. On the contrary, functional analysis of AG genes in basal eudicots suggest that they have earlier roles in stamen and carpel identity, thus making difficult the assessments of later roles in fruit development, if any. Although *SHP*, *IND*, *ALC*, *SPT* or *RPL* homologs are expressed in fruits, they have been poorly characterized and is unclear whether they have any fruit role conserved in core and non-core eudicots.

Based on gene-tree analyses and functional available data we hypothesize what parts of the network for fruit development in Brassicaceae, in particular regarding direct and indirect targets of *FUL*, might be conserved across Angiosperms. We also discuss the need for protein-protein studies among these major fruit regulators in core-eudicots outside of Brassicaceae and in non-core eudicots, as well as the need for functional analysis of the genes of the networks that are not MADS-box genes.



**Figure 1.** Duplication events in angiosperms of the gene lineages associated with the core network for fruit development in *Arabidopsis*. **A.** The *APETALA1/FRUITFULL* gene lineage, **B.** The *AGAMOUS/PLENA* gene lineage, **C.** The *SPATULA/ALCATRAZ* gene lineage, **D.** The *INDEHISCENT/HECATE3* gene lineage and **E.** The *REPLUMLESS/POUND-FOOLISH* gene lineage. Stars= duplications.

# FITOLITOS Y OTROS MICROFÓSILES EN ARQUEOLOGÍA: USOS Y COSTUMBRES

**Alejandra Korstanje**

Universidad Nacional de Tucumán/CONICET, Argentina.

[alek@webamail.unt.edu.ar](mailto:alek@webamail.unt.edu.ar)

## Introducción

Como arqueóloga que soy estudio temas sociales o sea, temas que tienen que ver con lo humano, sus comportamientos, quehaceres, ideas, organizaciones, formas de relacionarse y, si pudiera, estudiaría también sus expectativas., pero lo cierto es que yo no “estudio” fitolitos. Ni estudio otros microfósiles. Más específicamente estudio cómo se organizaba la gente para el trabajo cuando plantaban, cuidaban sus almacigos, se reunían a trabajar juntos la tierra o en las cosechas, o rogaban a sus dioses por una buena temporada de lluvias y sin plagas. Y para eso, los microfósiles han sido mis grandes aliados...

Aparte de los silicofitolitos hay otros microfósiles vegetales y animales que son útiles para este tipo de investigación. Algunos de ellos también constituyen “fitolitos” en sentido técnico (por ejemplo, los oxalatos de calcio y en parte los gránulos de almidón) aunque la tendencia es denominar fitolitos a aquellos compuestos por sílice opalino (silicofitolitos). Un listado de otros microfósiles apropiados para este tipo de estudios arqueológicos incluiría: gránulos de almidón, diatomeas, crisofíceas, polen, micro carbones, esferulitas, oxalatos de calcio, anillos de celulosa y ostrácodos (Korstanje et al 2013).

Entonces, los microfósiles pueden ser un tema, un objeto de estudio en sí mismos, o pueden ser una herramienta útil para estudiar otras cosas y temas. Sobre esta segunda línea me encuentro y es desde donde expondré algunos resultados que pueden interesar a los que se están iniciando en el tema, tal como nos fue solicitado para este simposio. El lector que esté en dicha situación deberá primero -o después- consultar los manuales básicos que existen sobre el tema (Piperno 1988, 2005, Pearsal 1989, Weinner 2010 entre otros) ya que aquí no encontrarán una síntesis de todos los aspectos que hay que tener en cuenta para trabajar con microfósiles. Me interesa, en cambio, presentarles las posibilidades que han tenido los profesionales en Arqueología que los han tomado como herramienta en la Sudamérica andina en los últimos 20 años.

En la experiencia práctica de lo que necesitamos para iniciarnos hay temas que ya he tratado antes y que pueden ser de utilidad complementaria al lector/a de este texto: una síntesis metodológica que hemos realizado con dos colegas (Korstanje et al 2013), próxima a publicarse; antes he analizado por qué defiendo la posibilidad de la “no especialización” como una alternativa a la hiperespecialización que el tema en sí suele sugerir (Korstanje 2008); también me he entusiasmado y he intentado contagiar mi entusiasmo explicando cómo podemos innovar sin miedo a las estructuras rígidas de la investigación protocolarizada (Korstanje 2011a), y he relatado además las dificultades políticas e idiomáticas al posicionarnos en esta disciplina a nivel global (Korstanje 2010).

Lo que pretendo contar ahora es la experiencia desde Argentina sobre cómo es posible iniciarse en este tema, continuarlo y sacarle provecho, aun no dedicándonos de lleno y “de por vida” a esta

especialidad. Para ello es necesario también conformar equipos, redes, laboratorios, bases de datos conjuntas y comenzar a considerar si los fitolitos y otros microfósiles pueden ser utilizados también en trabajos de arqueología aplicada o usos sociales más allá del conocimiento básico en la academia, tarea en la que nos encontramos trabajando en conjunto con los colegas de Uruguay y Brasil. Será un análisis sudamericano-centrista, y apoyándome mucho en mi experiencia, sin que esto empañe en manera alguna toda la ayuda, afecto y contribuciones que hemos recibido de nuestros colegas del resto del mundo para poder desarrollar lo que hasta aquí expondré.

## ¿Qué problemas arqueológicos podemos abordar desde la ayuda metodológica de los microfósiles?

Las promesas de los silicofitolitos desde el principio nos encandilaron y estimularon a la vez. Ya en 1988, Piperno enumeraba las posibilidades que brindan los mismos para la Arqueología, como temas posibles de abarcar, tales como los cambios en la composición genética de las plantas, inducidos culturalmente; los orígenes y dispersión de plantas domesticadas y el desarrollo de sistemas agrícolas; la disponibilidad, uso económico y roles no-económicos de las plantas silvestres; la naturaleza de los ambientes y las modificaciones ambientales asociadas con la ocupación humana de los sitios del pasado; y la relación entre tecnología, economía y organización social (Piperno 1988). Otros aspectos que también son posibles de estudiar desde los fitolitos son los procesos de formación de sitios y procesos tafonómicos, índices de producción, domesticación de especies, y culinaria nativa, entre otros.

Los microfósiles proceden en su mayoría de las plantas y la naturaleza, y los problemas arriba enumerados son afines a lo que estudian biólogos, botánicos y ecólogos... ¿Por qué los arqueólogos estudiamos entonces también los microfósiles al punto de poder hablar de ellos? ¿Por qué no pedimos simplemente colaboración a los botánicos para interpretarlos? ¿Qué necesidad tenemos los arqueólogos de estudiar Botánica básica y después temas de fisiología y tejidos y células bien especializados? O en otras palabras, ¿por qué ahora los botánicos deben prestar atención a los arqueólogos exponer sobre estos temas?

Creo que por dos motivos:

- 1) el tema no fue suficientemente atractivo para los botánicos en su momento, como para que el conocimiento que ellos generaron se expandiera; y
- 2) la naturaleza del registro arqueológico –fragmentario, frágil é único- tiene condiciones cuya importancia, significancia y validez no siempre puede comprender el botánico sin la ayuda de un arqueólogo/a.

El primer motivo tiene que ver más bien con cómo se han planteado los problemas y las redes de investigadores regionalmente. Hay ejemplos exitosos en otros lugares del mundo, como por ejemplo Estados Unidos, sud de Francia, donde los equipos de botánicos y ecólogos trabajan en estos temas desde hace décadas con gran éxito e interés de la comunidad internacional por sus resultados (cf. <https://www.cerege.fr/spip.php?rubrique28>)

El segundo componente de la pregunta tiene que ver más con la necesidad de dialogo interdisciplinario que con una dificultad real. Pero mientras el dialogo se hace fecundo, los arqueólogos hemos optado por seguir avanzando, formándonos nosotros mismos en la interdisciplina (ver Kors-tanje 2008 y 2011a).

## ¿Qué resultados novedosos se han obtenido en arqueología sudamericana a partir de estos análisis?

Hay dos grandes líneas que se diferencian no tanto por los problemas que abordan como por algunas pequeñas diferencias en la metodología de laboratorio con la que se separan las muestras:

- a) por un lado están los estudios provenientes de columnas y muestreos en suelos y sedimentos, y
- b) los que provienen de limpiezas o raspados de artefactos.

Para ambos casos ha sido importante y necesaria la organización de colecciones de referencia locales, sobre las plantas útiles que los pueblos andinos han incluido en sus repertorios de comidas, cultivos y uso como materia prima para la construcción y sus artesanías.

Además de los cereales como el maíz (*Zea mays* sp.), donde el núcleo mismo del largo debate vertió sobre la imposibilidad o posibilidad de identificarlo como tal (ver Pearsall 2002 para una síntesis del mismo), y dado que los argumentos allí vertidos no obstaculizan el desarrollo de las investigaciones a nivel regional -en tanto no están en esta región las Poáceas cuya producción de silicofitolitos se solapa o redunda con las formas y tamaños de silicofitolitos del maíz, se cuenta además con la caracterización de los tipos de silicofitolitos presentes en los antiguos maíces de la zona, muestreando distintas partes del fruto y brácteas (chala) de los maíces arqueológicos bien preservados del sitio Los Viscos. Existe en este momento un proyecto de base de datos con caracterización de los almidones provenientes de las diversas razas de maíz del noroeste argentino, que aportará importante información para continuar con estas líneas (Giovanetti et al 2012)

Los silicofitolitos han sido identificados tempranamente también dentro de distintas familias de dicotiledóneas, -familias Cucurbitaceae (Bozarth 1987, Piperno et al 2000, Bryant 2003) y Fabaceae (Bozarth 1990) y Cannaceae (Pearsall 1993)- por lo su interés para estudios arqueológicos fue haciéndose cada vez más importante. Por ello se procedió a formular una colección de referencia mixta de almidones y fitolitos de las mismas plantas (Korstanje y Babot 2007), que resultó ser una de las claves para poder continuar adelante exitosamente: analizando siempre en conjunto fitolitos y almidones, tales como por ejemplo el tarwi (*Lupinus mutabilis*), el ulluco (*Ullucus tuberosus*), la coca (*Erythroxylum coca*), etc., ni de otras plantas silvestres utilizadas en el pasado con gran asiduidad, tales como el cebil (*Anadenanthera colubrina*), el algarrobo (*Prosopis* spp.), el chañar (*Geoffroea decorticans*), etc. Esto resultó clave no sólo para el estudio de la agricultura y microfósiles en suelos, sino para su identificación de uso en distintos tipos de artefactos.

Lo que a continuación sigue son resultados concretos de acuerdo a la resolución y escala de cada caso, con el aporte de investigaciones propias y a partir de la experiencia de otros autores exclusivamente en suelos y sedimentos.

Para abordar el problema arqueológico de la **producción mixta (animal-vegetal) de alimentos** nuestra propuesta original fue explorar el estudio de micro vestigios vegetales, y más específicamente los silicofitolitos por las expectativas de conservación en sitios a cielo abierto, como son los corrales y los campos de cultivo (Korstanje 2011a). Si bien dentro de las fortalezas de los silicofitolitos -aún hoy asumidas como tales-, figura su estabilidad en los suelos (Rovner 1983, Piperno 1988), existen tempranas advertencias sobre la posible intromisión de fitolitos provenientes en la fracción de suelo transportada por el viento y otros factores tafonómicos que alteran su estructura y cohesión. Esto es muy importante cuando estamos estudiando directamente los sitios de producción a cielo abierto, porque además, el continuo laboreo de las tierras implica una mecánica de atrición extra a las normales circunstancias de meteorización y arrastre y, por lo tanto, los niveles de depositación de fitolitos son palimpsestos sujetos a una meteorización extra debido al laboreo agrícola.

Para el estudio de la agricultura local era muy importante también la posibilidad de distinguir campos de cultivos regados artificialmente de los de agricultura de secano. Este tema podía ser abordado de dos formas: contabilizando la frecuencia de diatomeas, o a partir del hallazgo de esqueletos silicios de células largas y cortas articuladas (“espodogramas”), como los encontrados en sitios arqueológicos de medio oriente para taxones de cereales (cf. Rosen y Weiner 1994). En este último caso, la idea es que para ambientes muy especiales, como los áridos o semiáridos, es posible distinguir entre pastos que fueron regados de aquellos que crecieron en condiciones naturales puesto que el sílice se solidifica intercelularmente. En nuestra región contamos con estructuras regadas por canales y estructuras sin canales de riego (cultivo a secano), y se han encontrado por primera vez en el noroeste Argentino espodogramas de maíz en el sitio Alto Juan Pablo (Maloberti 2012). El estudio de la fragmentación de las diatomeas, a su vez, permitió la identificación de canales de riego apenas marcados en la superficie (Cohen et al 2010)

Así es que los silicofitolitos nos permitieron abordar muchos interrogantes para áreas agrícolas que no era posibles de emprender desde otro lugar, a saber: identificación de especies; sistemas de regadío y riego a secano; rotación de cultivo; abonado de los campos; e interacción planta/animal (Korstanje et al 2013).

El aporte de la metodología de análisis múltiple (Coil et al 2003, Korstanje et al 2013) nos ha permitido incluso salvar para la investigación las circunstancias en que no aparecían los fitolitos, sea por cuestiones de conservación o factores del mismo tipo de cultivos y usos de suelos. Así, los almidones han sido los que en muchos casos nos han permitido comenzar a comprender los usos de las antiguas terrazas de cultivo tardías, donde se esperaba principalmente el cultivo del maíz, y sin embargo toda la evidencia de microfósiles encontrada hasta el presente indica el cultivo de tubérculos (Korstanje 2011b).

Los primeros avances en los análisis de microrrestos presentes en sedimentos asociados a campos de cultivo en el Valle de Tafí permiten plantear que en estas parcelas se habría cultivado seguramente maíz (*Zea mays*), por la presencia de almidones y probablemente tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) (Franco Salvi et al 2014), asegurando ahora con evidencia independiente la importancia de estas áreas para el cultivo y no sólo para el manejo de ganado.

Del mismo modo, el estudio de microfósiles en terrazas de cultivo y parcelas de cultivo está avanzando en los últimos años y nos permitirán dar un panorama cada vez más ajustado de los usos del suelo en tiempos prehispánicos. Muchos de los trabajos están aun en una etapa inicial y las publicaciones son aun parciales, pero hay avances en diferentes lugares del noroeste argentino y área circuntítica tales como los valles de Ambato, Quebrada de los Corrales, Quebrada de Miriguaca, Coctaca. Kapla, Lipez, que conocemos, pero lamentablemente no podemos citar aun.

También se han realizado experimentaciones etnoarqueológicas, con sedimento de las distintas áreas de actividad dentro de una parcela con cultivo actual de Quinoa en Potosí (Bolivia) El resultado de los análisis de silicofitolitos ha determinado la ausencia de quinoa a nivel microscópico ante lo cual las autoras proponen dos hipótesis se proponen dos hipótesis para explicar dicha ausencia: a) la posible fragilidad de dichos microrrestos, por lo que éstos se destruirían, y b) que esta posible fragilidad podría deberse a bajos niveles de sílice en el sedimento (López y Caparelli 2010). Hemos tenido una experiencia similar en los campos de cultivos andinos del jardín botánico de la Universidad de Berkeley, California, trabajo que no hemos publicado justamente por la notoria ausencia de microfósiles en general, en campos cultivados por más de diez años. De todos modos, estos resultados deberían ser chequeados con otros microfósiles como almidones y testeando el tiempo de cultivo trascurrido entre diferentes parcelas en diferentes regiones y teniendo en cuenta en cada caso qué parte de la planta se “quita” y cuál permanece in situ como abono para la próxima labranza o como rastrojo para animales.

Además de los campos de cultivo como sitios a cielo abierto, una de las alternativas que comenzamos a explorar cuando nos iniciamos en el análisis de silicofitolitos fue un sitio doméstico



a cielo abierto caracterizado como “cocina”, en un trabajo que fue pionero en la arqueología del NOA por ser el primero en el que se aplicaba esta metodología (Würschmidt y Korstanje 1998-99). Las primeras muestras analizadas provenían de las capas correspondientes a un nivel de ocupación temprano de una unidad que de acuerdo a los hallazgos arqueológicos -fogón, cerámica, piedras de asiento, mortero plano- hemos denominado “cocina”. Esto permitió distinguir los silicofitolitos del resto de las partículas del suelo, que luego se fotografiaron y dibujaron, ordenándolos morfométricamente en aquel entonces en base a la clasificación de Twiss (1992). Como referencia de cultivo andino se usó en este caso cuerpos silíceos, obtenidos quemando hojas de maíz “criollo” de la zona. Este procedimiento permitió identificar -en el nivel de ocupación citado- predominancia de formas correspondientes a Poáceas (consideradas como *Zea mays*) que no aparecían en los otros niveles. Esta primera investigación desde los sedimentos de un piso en un sitio a cielo abierto, posteriormente fue controlada y confirmada con el estudio de los artefactos cerámicos del mismo nivel, siguiendo ya la morfometría propuesta por Piperno (1984) y siguientes.

## Conclusiones

Hemos revisado brevemente las implicancias y posibilidades del estudio de microfósiles para la arqueología, tomando como ejemplos específicos la experiencia realizada en el noroeste Argentino en sitios a cielo abierto. Queda abierta ahora la posibilidad de que comencemos a pensar si estas investigaciones pueden redundar en una mayor confianza a la dimensión social de la investigación, ya que aun la ciencia básica tiene un sentido social si sabemos otorgárselo.

## Referencias

- Bozarth, S. 1987. Diagnostic Opal Phytoliths from Rinds of Selected Cucurbita species. **American Antiquity** 52(3):607-615.
- Bozarth, S. 1990. Diagnostic Opal Phytoliths from Pods of Selected Varieties of Common Beans (*Phaseolus vulgaris*). **American Antiquity** 55(1):98-103.
- Bryant, V. 2003. Invisible Clues to New World Plant Domestication. **Science**. Vol. 299:1029-1030.
- Cohen, M. L.; Grana, L.; Maidana, N. I. 2010. ¿Antiguos canales? Identificación de canales de riego mediante bioindicadores. El caso de Peñas Coloradas. **XVII Congreso Nacional de Arqueología**, Tomo IV: 1417-1421. Mendoza.
- Coil, J., M. A. Korstanje, S. Archer y C. Hastorf. 2003. Laboratory goals and considerations for multiple microfossil extraction in archaeology. **Journal of Archaeological Science** 30. Págs: 991-1008. Academic Press.
- Franco Salvi, V. M. L. López y R. M. Molar. 2014. Microrrestos Vegetales en Campos de Cultivo del Primer Milenio de la Era en el Valle de Tafí (Prov. de Tucumán, República Argentina). **Arqueología Iberoamericana** 21: 5-22.
- Giovannetti, M., I. Lantos, R. Defacio, N. Ratto. 2012. Construcción de un Banco de Almidones de Variedades Nativas de *Zea Mays* L. del Noroeste Argentino. Propuesta Metodológica y Primeros Resultados. En: Babot, M. del P., M. Marschoff ; F. Pazzarelli (Eds.) 2012. **Las manos en la masa: Arqueologías, Antropologías e Historias de la Alimentación en Suramérica**. pp. 361-386. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba.
- Korstanje, M.A. 2008. Ser o no ser: de arqueólogos/as y paleoetnobotánicas/os. En: **Arqueobotánica y Teoría Arqueológica. Discusiones desde Suramérica** (Sonia Archila, Marco Giovannetti y Veronica Lema Eds.). Págs. 35-49. Universidad de Los Andes, Colombia.
- Korstanje M.A. 2010 m.s. **El emperador está desnudo: la lengua franca de la Ciencia Global tiene dueños**. VIII Jornadas de Traducción y Terminología. CETRATER Departamento de Idiomas Modernos. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Tucumán. Mayo 2010.

- Korstanje M.A. 2011a. Lo Lúdico, lo Creativo y lo Formalizado en la Investigación del Pasado: Expanding Saberes en Arqueobotánica. En: **Tradiciones y Transformaciones en Etnobotánica**(M.L. Pochettino, A. Ladio y P. Arenas Eds), pp: 76-82. Programa CYTED. Vº ICEB 2009.
- Korstanje, M.A. 2011b. **Andenes en los Andes: Paisajes Agrícolas Tardíos sin Maíz**. Enviado a publicar a: Racionalidades campesinas en los Andes del sur (Bolivia, Chile, Argentina): pasado, presente (P. Cruz, R. Joffre, A. Nielsen y T. Winkel, Eds). Institut de Recherche pour le Développement (IRD) e Instituto Francés de Estudios Andinos.
- Korstanje, M.A. y M. del P. Babot. 2007. A Microfossil Characterization from South Andean Economic Plants. En: **Plants, people and places: recent studies in phytolith analysis**, Proceeding of the 4th International Meeting on Phytolith Research (eds. M. Madella y D. Zurro), pp. 41-72. Oxbow Books, Cambridge, UK.
- Korstanje, M.A., P. Cuenya y M. Maloberti. 2013. Usos del suelo, Actividades Domésticas y Paisajes Campesinos: Problemas Arqueológicos/ Perspectivas Interdisciplinarias (con Énfasis en Microfósiles).En prensa en: **Revista Werken**, Universidad Internacional SEK, Chile.
- López, M. L y A. Capparelli. 2010. La Producción actual de Quinoa (*Chenopodium Quinoa* W.). Datos de Inferencia Etnoarqueológica para Identificar Parcelas Arqueológicas. **Revista de Arqueología Americana** Nº 28: 83-106.
- Maloberti, M. 2012. **El paisaje campesino visto desde emplazamientos agrícolas particulares: Alto Juan Pablo (Departamento Belén, Catamarca)**. Tesis de grado Inédita. Facultad de Ciencias Naturales e I.M.L. UNT. Tucumán
- Pearsall, D. 1989. **Paleoethnobotany. A Handbook of Procedures**.Academic Press.
- Pearsall, D. 1993. Contributions of phytolith analysis for reconstructing subsistence: examples from research in Ecuador. En: **Current research in Phytolith Analysis: Applications in Archaeology and Paleoecology**. D. Pearsall and D. Piperno eds. MASCA Research Papers in Science and Archaeology. 10:109-122. University of Pennsylvania, Philadelphia
- Pearsall, D. 2002. Maize is Still Ancient in Prehistoric Ecuador: The View from real Alto, with Comments of Staller and Thompson. **Journal of Archaeological Science** 29:51-55.Piperno 1984. American Antiquity 49 (2)
- Piperno, D. 1984. A comparison and differentiation of phytoliths form maize and wild grasses: use of morphological criteria. **American Antiquity** 49(2): 361-383.
- Piperno, D. R. 1988. **Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective**. San Diego, Academic Press. págs. 275
- Piperno, D., I. Holst, L. Wessel-Beaver, T. Andres. 2002. Evidence for the control of phytolith formation in Cucurbita fruits by the hard rind ( Hr) genetic locus: Archaeological and ecological implications. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. Vol. 99. N° 16:10923–10928Rosen y Weiner 1994
- ROSEN, A.M. Y S. WEINER 1994. Identifying Ancient Irrigation: a New Method Using Opaline Phytoliths from Emmer Wheat. **Journal of Archaeological Science**. 21:125-132.
- Rovner, I. 1983. Plant Opal Phytolith Analysis: Major Advances in Archaeobotanical Research. **Advances in Archaeological Method and Theory**. Vol.6: 255-288. Academic Press.
- Weiner, S. 2010. **Microarchaeology Beyond The Visible Archaeological Record**. Cambridge University Press, 396 Págs.
- Würschmidt, A. y M. A. Korstanje.1998-1999. Maíz en la Cocina: primeras evidencias de fitolitos en sitios arqueológicos del NO argentino. **Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano**, 18. Págs: 457-468.Bs.As.

# SILICOFITOLITOS, TAFONOMÍA Y BIOGEOQUÍMICA DEL SILICIO EN SECUENCIAS PEDOSSEDIMENTARIAS DEL CENOZÓICO

**Margarita L. Osterrieth**

Universidad Nacional de Mar del Plata, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina,

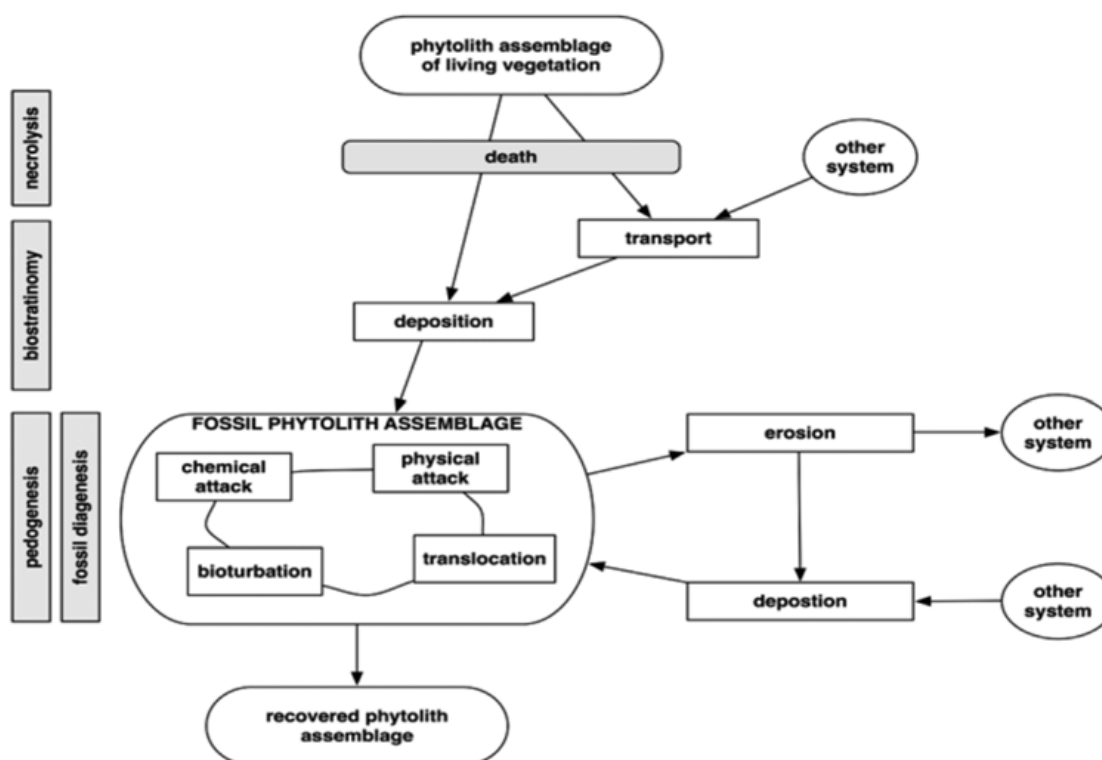
[mosterri@yahoo.com.ar](mailto:mosterri@yahoo.com.ar)

## Características generales, marco conceptual

Las biomineralizaciones son minerales o sustancias amorfas, generadas por el funcionamiento metabólico de los organismos vivos (Weiner y Dove, 2003; Osterrieth, 2004), están presentes en todos los niveles de la biosfera, en los cinco Reinos. Las biomineralizaciones generadas por las plantas son denominadas fitolitos; dentro de estas, las formadas por sílice amorfa hidratada ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), se llaman silicofitolitos (Osterrieth, 2004; Piperno, 2006), y se depositan en distintos tejidos vegetales. Aunque es muy común el uso del término fitolitos para referirse a los silicofitolitos, a pesar que los fitolitos de oxalatos y carbonatos de calcio (calcifitolitos), son más comunes y muy abundantes en numerosos grupos vegetales. Una gran variedad de plantas producen silicofitolitos, dentro de los grupos productores se hallan las monocotiledóneas (gramíneas, ciperáceas, marantáceas, entre otras), que dominan y han dominado las praderas a lo extenso del Cenozoico.

Una vez que las plantas mueren de manera natural o inducida, los silicofitolitos se incorporan pre-sin y post pedogenéticamente a los suelos; por lo que son buenos indicadores de comunidades vegetales actuales y/o pasadas y por lo tanto del desarrollo pedológico asociado. Persisten en el registro fósil como microfósiles o submicrofósiles y han sido utilizados recurrentemente en numerosos estudios de sedimentos y suelos desde mediados del siglo XX a la actualidad. Un creciente número de investigadores desde distintas disciplinas han abordado su estudio, botánico, paleobotánico, paleoambiental, arqueológico y en menor proporción su rol en el ciclo biogeoquímico del silicio en ambientes continentales y marinos (Osterrieth, 2008, 2013). En este sentido los estudios de los procesos de degradación físico-química y transferencias en el sistema silicofitolitos-plantas-suelos-ambiente, se consideran esenciales para la comprensión de procesos tafonómicos y porque aportan datos básicos al escaso conocimiento del ciclo biogeoquímico del silicio.

En estrecha relación con lo precedentemente expuesto, y dado que en los suelos se encuentra un registro fragmentario de los contenidos silicofitolíticos de las plantas proveedoras, el abordaje de los procesos tafonómicos que los afectan, de su presencia y/o ausencia en las secuencias pedosedimentarias, se considera esencial, a pesar de ser, esta una temática escasamente considerada (Osterrieth *et al.*, 2009) (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema teórico de procesos tafonómicos que afectan la presencia, persistencia y degradación de los silicofitolitos [según Osterrieth *et al.*, 2009]

## Síntesis de los resultados obtenidos

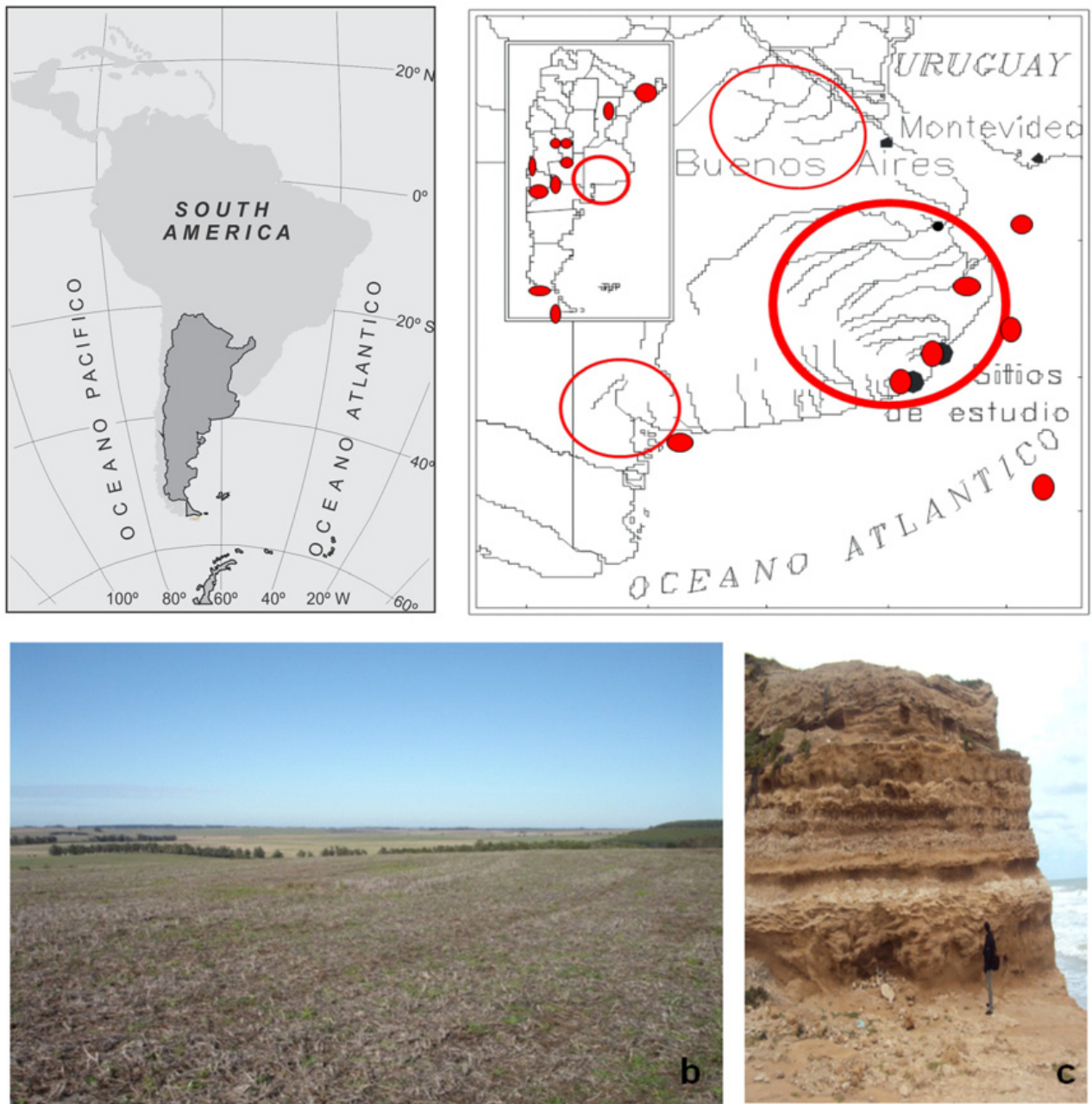
### Área de estudio

Los antecedentes de estudios silicofitolíticos a nivel internacional son comunes, no así en América del Sur y Argentina, siendo mayoritarios los estudios aplicados a secuencias del Pleistoceno tardío-Holoceno. Se presenta en este trabajo una síntesis de los resultados propios obtenidos desde 1980 a la actualidad, a partir de estudios en secuencias pedosedimentarias naturales y antropizadas cenozoicas representativas de distintos sectores del país, con especial énfasis en la llanura pampeana (Figura 2a y b).

### Aspectos metodológicos

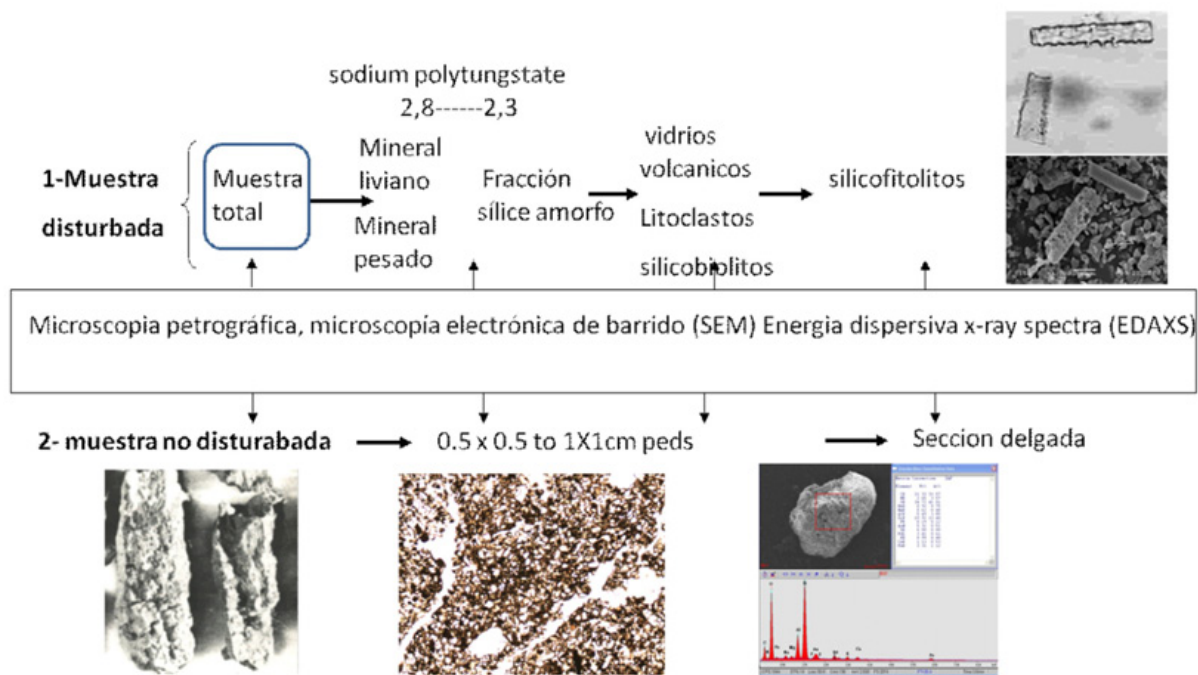
Las metodologías utilizadas han variado en función del tipo de estudio realizado y del avance en las distintas técnicas de muestreo, procesamiento, caracterización y clasificación de los silicofitolitos en muestras disturbadas y no disturbadas, mediante microscopía óptica de polarización (MO), electrónica de barrido (MEB) y estudios mineraloquímicos (EDAXs) (Figura 3)

De los estudios de silicofitolitos en las secuencias pedosedimentarias analizadas de manera sistemática, se comprobó que surgieron diferencias sustanciales en los contenidos y tipos morfológicos (morfortipos) hallados, según las metodologías utilizadas. Resultando la metodología más adecuada la definida por Alvares y colaboradores (2008). Un aspecto metodológico-tafonómico esencial para las interpretaciones paleocológicas y paleoambientales, resultó ser la evaluación de los contenidos de silicofitolitos respecto de la mineralogía total de los horizontes pedológicos actuales



**Figura 2.** Localización del área de estudio. a: mapa de ubicación de las zonas de estudio. b: foto panoámica de la llanura pampeana. c: foto de secuencia pedosedimentaria Plioceno-Holocena.

o pasados y de los sedimentos tanto naturales como antropizados. Si bien esta no es una rutina comúnmente utilizada en los estudios fitolíticos, que se evalúan directamente sobre las muestras concentradas a densidad 2,3, se considera importante su implementación ya que permite establecer los tenores reales que se hallan en todos los niveles pedológicos o sedimentarios estudiados. Su relevancia es innegable ya que sobre la base de los contenidos es posible establecer las características de las coberturas vegetales, del tipo e intensidad de los procesos pedológicos, persistencia, degradación, procesos tafonómicos acaecidos, entre otros. Los resultados de estas evaluaciones de los contenidos de silicofitolitos en todos los horizontes de suelos actuales de distintos ambientes de la llanura pampeana, mostró variaciones cuantitativas sustanciales según se trate de epipedones, endopedones, suelos poco desarrollados, medianamente o muy bien desarrollados; de la magnitud



**Figura 3.** Esquema de la metodología utilizada

de procesos erosivos y morfodinámicos en los distintos ambientes estudiados. Estos resultados se consideran relevantes ya que al analizar pedosecuencias naturales o antropizadas los contenidos reales respecto de la mineralogía total y fracción esquelética de la cual los silicofitolitos forman parte, condicionará sustancialmente las interpretaciones paleobotánicas, paleocológicas, y paleoambientales, tanto en estudios locales como regionales.

## Silicofitolitos en plantas

Los pastizales nativos de las llanuras templado-húmedas a subhúmedas están y han estado a lo extenso del Cenozoico representados esencialmente por gramíneas todas proveedoras de silicofitolitos. En el marco de la relación vegetación-materia orgánica-silicofitolitos, es obvia la relación entre la degradación de los restos vegetales y los contenidos de materia orgánica de suelos naturales con valores de 120 a 180 tn/ha.

Para definir los aportes de sílice amorfo desde las comunidades de gramíneas más relevantes de la llanura pampeana y así completar los distintos compartimentos del ciclo biogeoquímico del sílice amorfo, se definió la producción silicofitolítica en cantidad y porcentaje de peso seco de las comunidades vegetales actuales dominantes presentes en distintos ambientes de la llanura pampeana. Los valores medios obtenidos son para Monocotyledoneas de 2 a 18 %, y para Dicotyledoneas de 1 a 4% (Fernandez Honaine *et al.*, 2006, 2009; Borrelli *et al.*, 2008, 2012), (Figura 4,5).

## Silicofitolitos en secuencias pedoestratigráficas

Los suelos dominantes en la llanura pampeana son Molisoles y en particular los Grupos de Hapludoles y Argiudoles, estos son suelos muy fértiles, han sostenido las actividades agrícolas ganaderas y hortícolas desde hace más de 150 años.

Los contenidos de silicofitolitos en los horizontes modales de Argiudoles típicos respecto de la mineralogía total de los componentes presentan los siguientes porcentajes: 1) en los epipedones mólicos u horizontes superficiales A entre 70 y 30%; 2) para los endopediones u horizontes iluviales B, tenores entre el 2 y 6 %, y 3) en los materiales parentales loésicos o fluviocólicos, horizontes C, entre el 0,5 y 3% de silicofitolitos; Los paleosuelos presentan contenidos variables entre 8 y 15% (Figura 4).

Los contenidos de silicofitolitos, en la mineralogía total de las secuencias pedosedimentarias se constituyen en evidencias determinantes de la presencia de niveles de paleosuelos, suelos policíclicos y complejos, que complementan otras propiedades paleopedológicas analizadas. En secuencias continentales de la llanura pampeana, los silicofitolitos predominantes son de gramíneas C3, que se habrían desarrollado durante más de un ciclo húmedo y en un lapso de prolongada pedogénesis. Los pulsos más secos y esencialmente asociados déficit hídrico en los suelos, se corroborarían con la presencia de gramíneas C4. Los tenores y estados de silicofitolitos indicarían que el o los pulsos erosivos posteriores que degradaron estos niveles paleopedológicos han sido en la llanura pampeana de moderada intensidad.

Los sedimentos loésicos presentan contenidos de silicofitolitos variables y las morfologías diagnósticas, indican afinidad con el tipo de gramíneas C3 y C4, e indicadoras de condiciones climáticas semiáridas a subhúmedas, frescas, con poca humedad de suelo y marcada estacionalidad. Asimismo, los estados de preservación tanto física como química de distintos morfotipos se relacionó con las fuentes de aporte y distancias de las mismas e intensidad de la acción eólica.

Se estudiaron los registros silicofitolíticos analizados en secuencias costeras y transicionales, de lagunas costeras, estuarios, depósitos de playa, dunas costeras y de testigos de plataforma continental, vinculados a eventos transgresivos-regresivos del Pleistoceno-Holoceno y evolución de la línea de costa. Los resultados mostraron contenidos, morfotipos y estados de preservación muy variables para cada ambiente y paleoambiente estudiado. Si bien predominaron comunidades de plantas C3, las producidas por plantas C4 fueron comunes y se asociaron a condiciones de mayor salinidad y a la morfodinámica litoral, (Osterrieth *et al.*, 2005).

La relación entre los valores cuantitativos porcentuales y el stock en números de silicofitolitos por cantidad de suelos, es un dato escasamente disponible, aunque su ponderación es relevante en la consideración de los procesos tafonómicos y ciclo biogeoquímico del sílice amorfo/silicio. Así los epipedones mólicos, horizonte A, presentan contenidos de silicofitolitos que oscilan entre 11 y 28.000.000 millones por gramo de suelo, Esto equivale a un contenido de 60 a 100 toneladas de silicofitolitos por hectárea, estos valores llevados a contenidos de silicio provenientes de los silicofitolitos da contenidos de 20 a 30 tn/ha. En los horizontes B los contenidos oscilan entre 2 y 4 millones por gramo de suelo; y en los materiales parentales, horizontes C, los contenidos son menores a 1,5 millones de silicofitolitos por gramo de sedimentos (Figura 5).

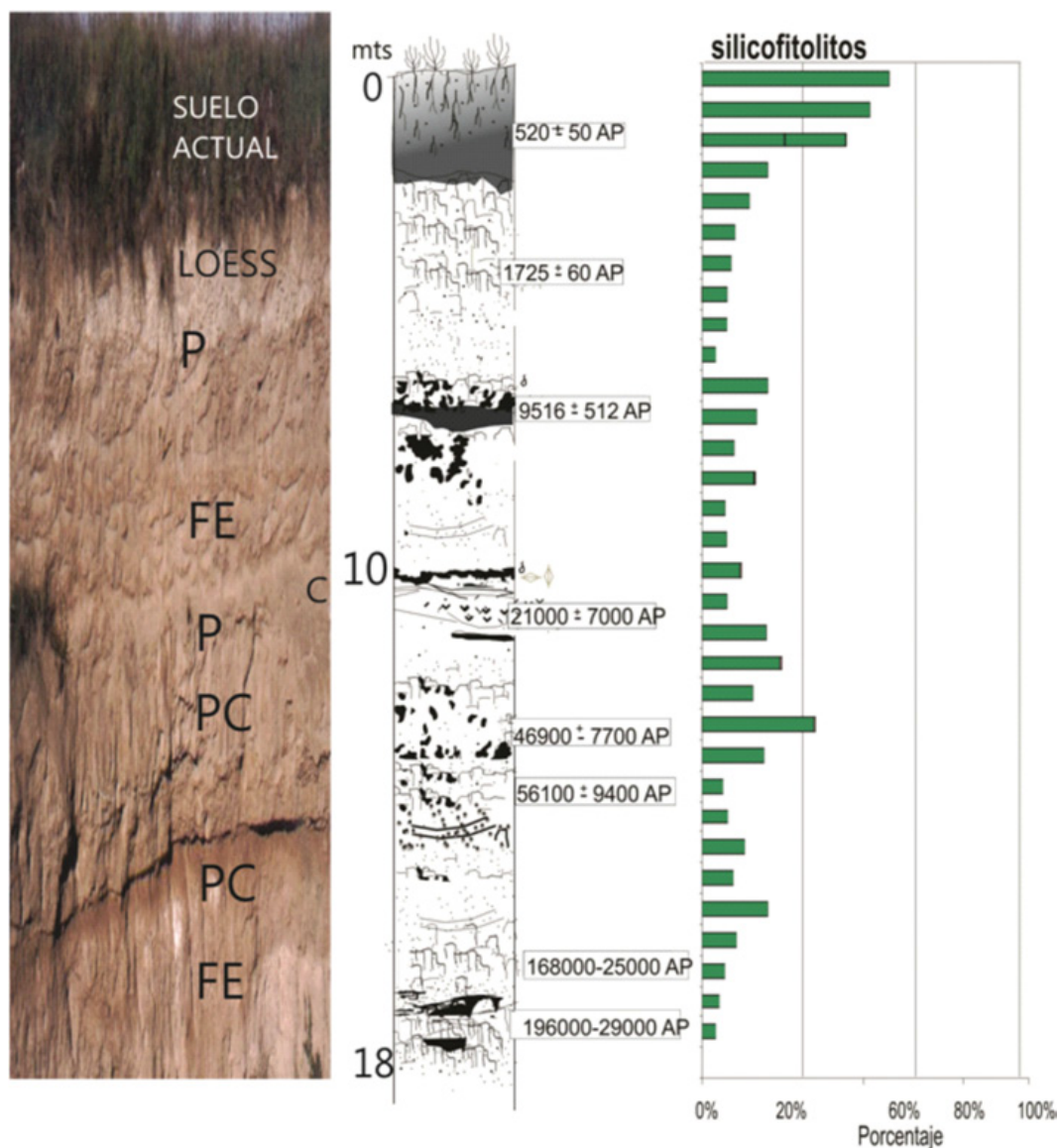
La presencia de silicofitolitos en suelos, paleosuelos, sedimentos y en niveles pedoarqueológicos se vio sustancialmente afectados por los procesos pedológicos de adición, transformación, traslocación, transferencia y pérdidas. También por sepultamiento, exhumación, diagénesis, transporte eólico, la combinación fuego-viento, variabilidad hídrica extrapedon, movimiento áqueo superficial, así como la actividad de animales y acciones antrópicas (Osterrieth *et al.*, 2008, 2009, 2013).

Definida la sustancial reducción de los contenidos de silicofitolitos, al pasar de los horizontes superficiales a los subsuperficiales y más aun a los materiales parentales, surgió la necesidad de conocer cómo y dónde se transfería esa importante cantidad de biomasa de silicofitolitos. Gran parte (91%) de la misma sale del sistema como *pool lábil* de sílice amorfo biogénico, que como sílice en la solución del suelo tiene valores de 453 a 1243 micromoles por litro, la cual aumenta hacia la base de las secuencias, y en relación inversa con el desarrollo de raíces. Otra parte del mismo, pasa a las aguas superficiales con tenores variables que oscilan entre 100 y 1000 micromoles por litro, según sean arroyos, lagunas y las estaciones del año, las lluvias y sequías. Finalmente, una parte de los

mismo pasa a las aguas subterráneas con valores medios de 840 +-230 micromoles/litro (Martínez y Osterrieth 1996, 2013), (Figura 5).

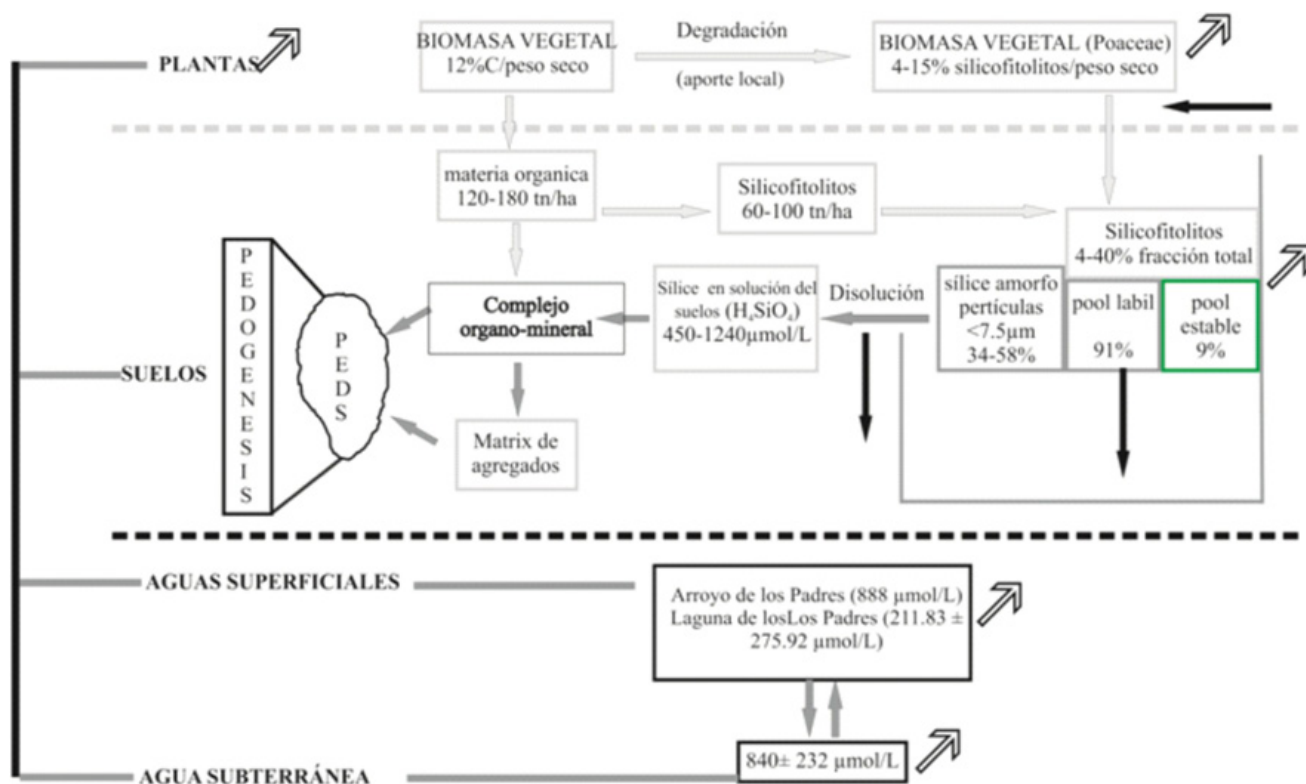
Considerado los aportes de silicofitolitos, su degradación, persistencia, transferencias y pérdidas a lo extenso del Cenozoico, se definió la importancia de la relación silicofitolitos/aporte de sílice amorfo/silicio en los ambientes de praderas templado húmedas de latitudes medias. Además en estos ambientes templado-húmedo a semiáridos, hay mucha recirculación de sílice amorfo/silicio y se estimó menor salida de sílice amorfo/silicio en estos ambientes respecto de los ámbitos tropicales o subtropicales (Borrelli *et al.*, 2012; Osterrieth *et al.*, 2012, 2013).

Los resultados mineraloquímicos, muestran que gran parte de la sílice amorfo/silicio pasan a conformar matrices enriquecidas en estos componentes con texturas masiva y hialina por reprecipitación de la solución del suelos enriquecida en los mismos. Las experimentaciones *in vitro* para medir la alteración de silicofitolitos de gramíneas, de vidrios volcánicos y diatomeas, confirmaron dicha hipótesis (Borrelli *et al.*, 2012b).



**Figura 4.** Foto-esquema representativo de secuencias pedosedimentaria Pleistoceno-Holocena representativa de la llanura pampeana. Contenidos medios de silicofitolitos en la mineralogía total de los horizontes analizados. P: paleosuelos. PC paleosuelo complejo. FE: sedimentos fluvioeólicos. C: cenizas volcánicas.





**Figura 5.** Esquema biogeoquímico general para el sistema suelos-aguas de la cuenca de Laguna de los Padres, llanura pampeana.

## Consideraciones finales

Los silicofitolitos analizados en suelos, paleosuelos, sedimentos de la llanura pampeana de Argentina, permitieron avanzar sustancialmente en las interpretaciones pedológicas, paleobotánicas, paleoambientales y paleoclimáticas del Cenozoico a la actualidad. Aportaron a la comprensión de los procesos tafonómicos en las secuencias pedoestratigráficas de la llanura pampeana. Además de iniciar el conocimiento del ciclo biogeoquímico de la sílice amorfa/silicio y transferencia a nivel intrapedon para los Molisoles, como a los sistemas ácuos superficiales, subsuperficiales y subterráneos.

Los estudios de silicofitolitos agregan datos a los resultados provistos por otras evidencias; si bien, en esta temática de investigación los aportes aun son limitados, hay interrogantes por resolver, los logros son considerables. Queda mucha tarea por realizar, en el contexto de estudios inter y multidisciplinarios, y se considera muy importante incentivar a investigadores, becarios y estudiantes a la incorporación de estos estudios, como parte de otras rutinas en los trabajos que involucran suelos, paleosuelos, sedimentos y contextos arqueológicos (Osterrieth 2008a, b, 2009, Osterrieth et al 2010).

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos de investigación de la UNMDP EXA/551/11 y PICT/10-2036.

## Referencias

- Alvarez, M. F.; N. Borrelli & M. Osterrieth. 2008. Extracción de biominerales silíceos en distintos sedimentos utilizando dos técnicas básicas. **British Archaeological Research**, BAR: 31-38.
- Borrelli, N.; M. Osterrieth; A. Romanelli; M.F. Alvarez; J. L. Cionchi; H. Massone., 2012. Silica biomineralizations and their implication in soil and lagoon biogeochemistry in the southeastern of the Buenos Aires province, Argentina. **Environmental Earth Science** **65**: 469-480.
- Borrelli, N., Osterrieth, M., Marcovecchio J., & R. Freije., 2012. Degradación in vitro de silicofitolitos y su implicancia en la biogeoquímica de suelos del sudeste bonaerense. IIRAGSU Bahía Blanca: 22
- Fernandez Honaine, M. Zucol, & M. Osterrieth, 2006. Phytolith assemblage and systematic association in grassland species of the SE Pampean Plains, Argentina". **Annals of Botany** 98:1155-1165
- Fernandez honaine, M., M. Osterrieth & Zucol, A. 2009., "Plant communities and soil phytolith assemblages relationship in native grasslands from southeastern Buenos Aires Province, Argentina." **CATENA** 76: 89-96.
- Martinez, D.; & M. Osterrieth. 1999. Geoquímica de la sílice disuelta en el acuífero pampeano en la vertiente sudoriental de Tandilia. **Hidrología Subterránea**. Serie de Corr. Geológica 13: 241-250.
- Martinez, D & M. Osterrieth. 2013 Hydrogeochemistry and pollution effects of an aquifer in Quaternary loess like sediments in the land lling area of Mar del Plata, Argentina. **Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 66** pp. 9-23.
- Osterrieth, M. 2000. Silicofitolitos una herramienta para la comprensión de procesos pedológicos del Cuaternario. **XVII Congreso Arg. de la Ciencia del Suelo**. CDR: 4pp.
- Osterrieth, M. 2004. **Biominerales y Biomineralizaciones**. Cristalografía de Suelos. Editado por la Sociedad Mexicana de Cristalografía: 206-218.
- Osterrieth M. L. 2006. **Ciclo biogeoquímico del Silicio**: Biomineralizaciones silíceas. Medioambiente en Iberoamérica. J. Gallardo Lancho Ed. T(II):583-590.
- Osterrieth, M. 2008. Silicofitolitos en suelos, paleosuelos y materiales parentales. Zucol, Osterrieth y Brea (Eds.) **Fitolitos**. Estado actual de sus conocimientos en América del Sur: III. 75-85.
- Osterrieth, M. 2008. Silicobiolitos/silicofitolitos: su rol en la matriz de suelos y paleosuelos de ambientes costeros de Buenos Aires, Argentina Zucol, Osterrieth y Brea. (Eds.) **Fitolitos**. Estado actual de sus conocimientos en América del Sur: 119-126.
- Osterrieth M. 2011. Amorphous Silica Biomineralizations in Plants and Soils, and their Role in the Biogeochemistry of Silicon in the Southeast of the Pampean Plain, Argentina. **8<sup>th</sup> Int. Meet. Phytolith Researc.** – USA:32
- Osterrieth, M.; R. Violante & N. Borrelli. 2008. Silicofitolitos en sedimentos de testigos marinos de la plataforma submarina del litoral atlántico bonaerense. **British Archaeological Research, BAR**: 109-110.
- Osterrieth M. L., Madella, M; D. Zurro & F. alvarez, 2009. Taphonomical Aspects of Silica Phytoliths in the Loess Sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International. Quaternary International** 193: 70-79.
- Osterrieth, M.L, alvarez, F., Benvenuto, L., Borrelli, N. & Fernandez Honaine, M., 2013. Role of The Silicophytoliths and Amorphous Silica in The Degradation of Soils in The Southeast of Pampean Plain, Argentina. **6<sup>th</sup> International Congress of Chemistry and Environment ICCE and 2nd International Society BioTechnology Conference ISBT**: p. 67-68. Bélgica
- Osterrieth, M.L, Borrelli, N., Alvarez, M.F. & Fernandez Honaine, M., 2013. Silica biogeochemical cycle in temperate ecosystems of the Pampean Plain, Argentina. **6<sup>th</sup> International Congress of Chemistry and Environment ICCE and 2nd International Society BioTechnology Conference ISBT**. p. 70-71. Bélgica.
- Piperno, D. 2006. Phytoliths. **A Comprehensive Guide for Archaeologist and Paleoecologist**. Altamira Press, 248.
- Weiner S, & Dove P. M. 2003 An overview of biomineralization processes and the problem of the vital effect. **Rev Mineral Geochem** 54:1-293.

# SILICOFITOLITOS COMO INDICADORES PALEOAMBIENTALES: POTENCIALES, LIMITACIONES Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN EN ECOSISTEMAS DE PASTIZALES DEL SE DEL URUGUAY

**Laura del Puerto<sup>1</sup>, Hugo Inda<sup>1</sup>, Roberto Bracco<sup>2</sup>,  
Felipe García-Rodríguez<sup>1</sup> e Irina Capdepont<sup>3</sup>**

Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República (UdelaR), Uruguay.

[ldelpuerto@cure.edu.uy](mailto:ldelpuerto@cure.edu.uy)

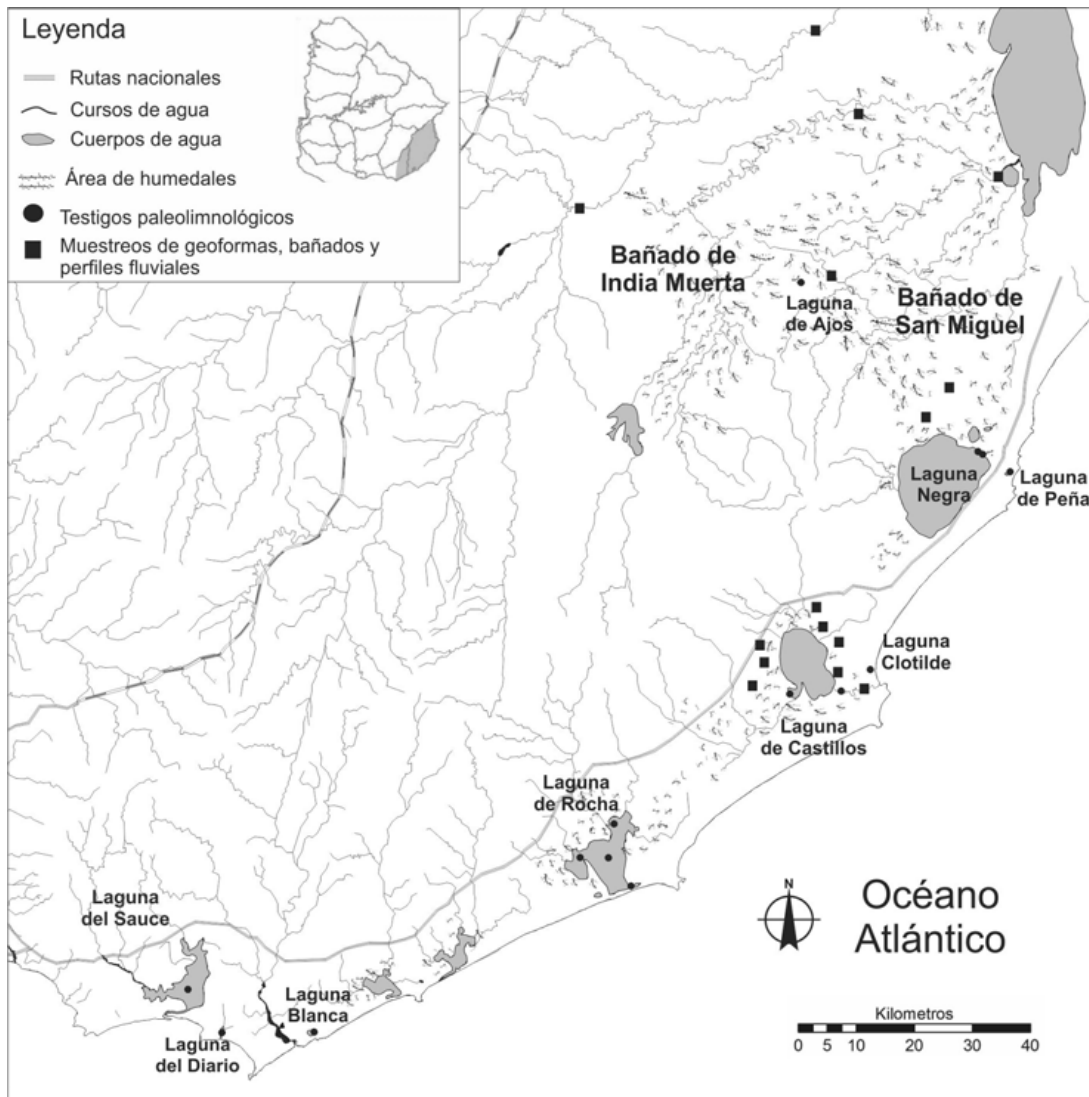
Laboratorio de Datación <sup>14</sup>C, Cátedra de Radioquímica/Facultad de Química (UdelaR) y Dirección de Innovación, Ciencia y Tecnología (DICYT), Ministerio de Educación y Cultura (MEC), Uruguay.

Laboratorio de Datación por TLD, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias (UdelaR). DICYT, MEC, Uruguay.

Durante los últimos 15 años se han desarrollado numerosas investigaciones interdisciplinarias en el sudeste del Uruguay, tendientes a reconstruir los cambios climáticos y ambientales holocenos (García Rodríguez et al. 2001, 2010; Bracco et al. 2011a; del Puerto et al. 2011, 2013ayb; Inda et al. 2006). Gran parte de estos estudios han hecho foco en el análisis *multiproxy* de depósitos de fondo de lagunas costeras, como potenciales fuentes de registros de alta resolución. El análisis de 16 testigos de fondo obtenidos de 10 lagunas costeras (Figura 1), con más de 50 fechados radiométricos y múltiples indicadores analizados (del Puerto et al. 2011, 2013b), ha permitido generar un modelo de evolución ambiental que abarca cambios en los niveles marinos, balance continente-oceano, variaciones en los estados tróficos y evolución climática regional (Bracco et al. 2011b, del Puerto et al. 2011, 2013ayb, García Rodríguez et al. 2010).

Recientemente se ha puesto el foco sobre otros registros continentales, principalmente geoformas y secuencias estratigráficas vinculadas a los procesos erosión-transporte-sedimentación del sistema hídrico regional (Bracco et al. 2012). Se han realizado relevamientos estratigráficos, muestreos y análisis de múltiples indicadores en perfiles fluviales, depósitos de fondo de bañado y paleosuperficies (Figura 1). El objetivo central ha sido la reconstrucción de la dinámica fluvial del sector sur de la cuenca de la Laguna Merín durante el Holoceno medio y tardío, con hincapié en el origen y evolución de los humedales de cotas altas, que no habían sido vinculados a las transgresiones marinas holocenas (Bracco et al. 2012, del Puerto et al. 2013b).

Si bien estos estudios han desarrollado el análisis integrado de múltiples indicadores (biológicos, físicos y geoquímicos), la reconstrucción paleoclimática se ha basado mayormente en el registro de silicofitolitos (Bracco et al. 2011a; del Puerto et al. 2011). Estos indicadores paleobotánicos han sido exitosamente aplicados a reconstrucciones paleoambientales en ecosistemas de pastizales alrededor del mundo. Su constitución mineral y su producción cuantiosa y diferencial en muchas



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los principales puntos de muestreo para análisis paleoambiental. Modificado de del Puerto et al. 2013b.

plantas, particularmente dentro de las gramíneas, les confiere a estos microrestos vegetales un gran potencial para reconstruir la dinámica pasada de los pastizales templados. Además de resistentes y abundantes, su condición de buenos indicadores se debe a que permite la identificación de los organismos progenitores a niveles taxonómica o ecológicamente relevantes. En este sentido, si bien los fenómenos de multiplicidad y redundancia afectan el carácter diagnóstico de los fitolitos, éstos permiten igualmente la identificación de grupos funcionales de alta sensibilidad climática y ambiental. A partir de la morfología de las células cortas silicificadas producidas en el tejido epidérmico de gramíneas, es posible identificar grupos taxonómicos a nivel de subfamilia, género y excepcionalmente especie. Pero más allá de la identificación taxonómica de las especies parentales, su mayor potencial para la reconstrucción paleoclimática y paleoambiental es el de permitir la identificación de grupos funcionales con diferente mecanismo fotosintético ( $C_3$  versus  $C_4$ ), diferente hábito y hábitat (por ejemplo, Baker et al. 2000; Fredlund y Tieszen 1997; Smith y White 2004; Twiss 1992).

Teniendo en cuenta que aproximadamente el 87% del territorio uruguayo (140.000 km<sup>2</sup>) está ocupado por pastizales naturales (Altesor et al. 2005) y que la composición y estructura de los mismos presenta una alta sensibilidad climática, el análisis de silicofitolitos se constituyó en una her-

ramienta de gran utilidad para la reconstrucción paleoambiental. Por esta razón, con el objetivo de aportar a la generación de modelos paleoambientales de alta resolución para el Holoceno en el sudeste del Uruguay, los análisis fitolíticos se desarrollaron en tres niveles complementarios y secuenciales que involucraron:

- ▶ Estudios actualísticos tendientes a consolidar el potencial de los silicofitolitos como indicadores paleobotánicos en relación con: a) la capacidad de discriminar grupos de gramíneas de relevancia taxonómica y funcional; b) su sensibilidad como indicadores de cambios climáticos y ambientales.
- ▶ Aplicación del análisis fitolítico al estudio de registros fósiles de alta resolución para el Holoceno en la región.
- ▶ Estimaciones cuantitativas de los cambios climáticos holocenos, mediante modelos de calibración fitolitos-clima y de la intercalibración de la señal climática [ $C_3/C_4$ ] de los fitolitos con análisis isotópicos sobre materia orgánica de registros paleolimnológicos de alta resolución.

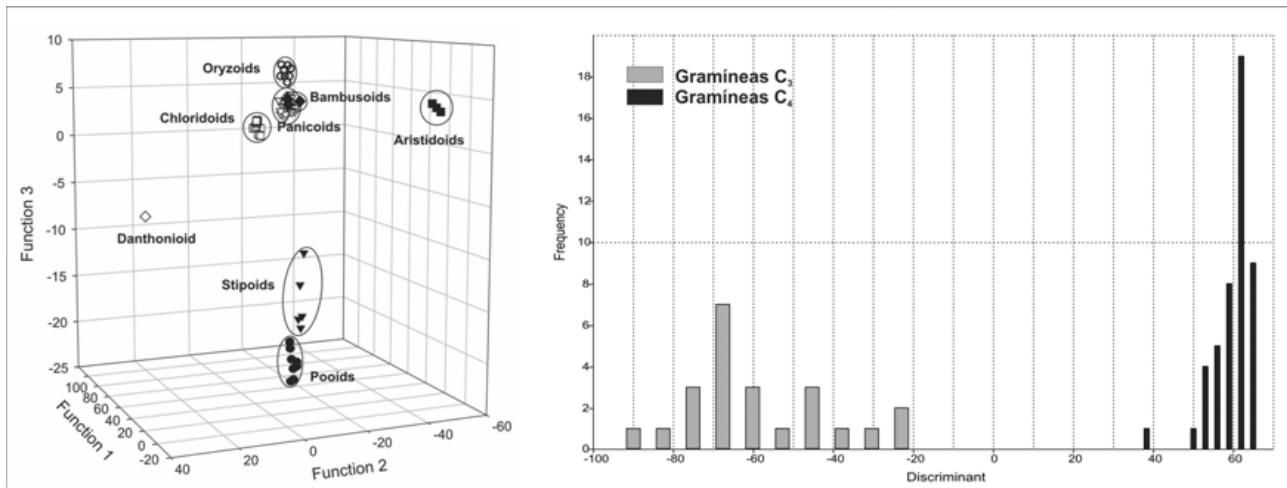
A continuación se presenta una síntesis de los principales resultados obtenidos en cada área.

## Estudios actualísticos: fitolitos en plantas actuales y sedimentos modernos

Si bien existen importantes antecedentes regionales sobre estudios taxonómicos y de asociaciones fitolíticas en sedimentos actuales (Fernández Honaine et al. 2006; Gallego y Distel 2004; Iriarte y Alonso 2009; Zucol 1998, 2000, 2001) se consideró necesario fortalecer la línea de base para consolidar la aplicación del análisis fitolítico en reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales. En particular, fue preciso dar sustento empírico para cumplir con dos de los supuestos del principio del actualismo: a) que la distribución y composición de las asociaciones fitolíticas actuales y fósiles (y de la vegetación productora) está en equilibrio con el clima; b) que es posible establecer estimaciones cuantitativas que relacionen el registro fitolítico con las variables climáticas de interés.

En este sentido, es preciso tener en cuenta que la configuración actual de los pastizales es el resultado de dos factores principales: 1) el clima (humedad y temperatura) y 2) las perturbaciones (herbivoría, fuego, introducción de especies exóticas). A nivel local, distintos factores como la topografía, el desarrollo edáfico, etc., aportan un mayor grado de variabilidad (Smith y White 2004). En el caso del Uruguay, el impacto antrópico sobre las pasturas nativas – principalmente por la introducción del ganado doméstico – ha modificado en forma significativa la estructura de la comunidad de pastizal (Altesor et al. 2005) haciendo que su composición, estructura y funcionamiento ecosistémico no se hallen en equilibrio natural con el clima.

Buscando alternativas ante estas limitantes y procurando ratificar los atributos de los silicofitolitos como indicadores paleobotánicos (en relación a taxonomía, sensibilidad climática y sensibilidad ambiental), en primer término se llevaron a cabo análisis comparativos en 80 gramíneas nativas y naturalizadas de la región. A partir de la abundancia relativa de los morfotipos de células cortas registrados en las distintas especies de gramíneas, se efectuaron análisis discriminantes a dos niveles: 1) taxonómico: para determinar la capacidad de discriminar entre subfamilias o tribus; 2) funcional: discriminación de especies  $C_3$  versus  $C_4$ . El primer análisis demostró que es posible diferenciar, a partir de la relación de abundancia de células cortas silicificadas de gramíneas, grupos taxonómicos a nivel de subfamilia y tribu (Figura 2). También fue 100% exitosa la clasificación de las especies de acuerdo a su mecanismo fotosintético, denotando que los morfotipos de células cortas son efectivos en la discriminación de grupos funcionales a esta escala (Figura 2).



**Figura 2.** Representación gráfica del resultado del análisis discriminante a partir de la relación de células cortas de gramíneas. Izquierda, gráfico de los tres primeros factores con identificación de los principales grupos taxonómicos (tribus). Derecha, diferenciación de gramíneas en relación a su mecanismo fotosintético.

En forma complementaria, se efectuaron análisis fitolíticos en sedimentos superficiales (0-5 cm) de 21 parcelas con más de 10 años de exclusión de ganadería en un gradiente latitudinal (31° a 36° S) y bajo distintas condiciones de clima, suelo e historia de uso (Tabla 1). Se cotejó estadísticamente la relación entre los resultados obtenidos a nivel taxonómico y funcional a partir de las células cortas de gramíneas con la información climática existente para cada localidad y parcela bajo exclusión analizada. La información climática fue obtenida de la base [www.worldclime.org](http://www.worldclime.org), con una resolución espacial de 1km (Hijmans et al. 2005). Estos análisis permitieron demostrar que los grupos taxonómicos y funcionales identificables mediante el análisis fitolítico, son relevantes para la reconstrucción paleoambiental. En este sentido, si bien al interior de las localidades de estudio se hallaron diferencias entre las asociaciones de parcelas ubicadas sobre distintos suelos, se halló una buena correlación entre algunos grupos de gramíneas, los índices climáticos propuestos por Twiss (1992) y la relación  $C_3/C_4$  reconstruida a partir de los silicofitolitos, con distintas variables climáticas a lo largo del gradiente latitudinal sobre el que se ubican las parcelas (Tabla 2).

## Análisis de silicofitolitos en testigos paleolimnológicos

Desde hace más de una década diferentes líneas de investigación han confluído en los registros de las lagunas litorales del Uruguay. Estos ambientes constituyen rasgos de paisaje de corta vida y presentan, en costas y fondos, registros geológicos, geomorfológicos y bióticos detallados de las condiciones a las cuales estuvieron sujetas durante su evolución: a) nivel marino (cambios climáticos globales); b) salinidad (continente/océano); c) temperatura y pluviosidad (clima regional). Esto las convierte en ambientes de gran potencial para la obtención de distintos registros que permiten reconstruir las variables paleoambientales que condicionan su conformación, evolución y configuración actual.

En el sudeste de Uruguay, registros *proxies* obtenidos de 14 testigos sedimentarios tomados en fondo y costas de nueve lagunas costeras (Figura 1) han contribuido a la construcción de un modelo regional de evolución paleoclimática y paleoambiental para el Holoceno. En cada testigo sedimentario se analizaron conjuntamente diversos registros biológicos, geoquímicos y sedimentológicos, a los fines de obtener información referente a la variabilidad climática y ambiental durante el Holoceno. Dentro del conjunto de indicadores biológicos, los silicofitolitos representaron un rol central para el

**Tabla 1.** Información referente a las parcelas bajo exclusión ganadera utilizadas en el análisis.

Exclusión	Latitud	Longitud	Parcela	Tipo de Suelo	MO	pH	Rocas	% Arena	% Limo	% Arcilla
PAL	31°49'60.00"	58°16'60.00"	A	Profundo	2,96	5,5	1,07	69,00	14,38	16,62
			B	Profundo	1,82	5,6	0,60	71,00	12,72	16,28
			C	Profundo	6,28	5,2	1,20	69,00	19,33	11,67
Glencoe	32° 0'0.00"	57° 7'60.00"	C94	Profundo	7	5,4	4,39	15,24	41,68	43,08
			C84	Superficial	6,42	5,6	11,37	25,06	37,43	37,50
			C84 layado	Superficial	4,64	5,6	8,02	25,82	42,20	31,98
Quebrada	32°55'36.66"	54°27'15.36"	S1	Superficial	5,33	4,8	40,80	13,81	40,55	45,62
			S2	Profundo	5,58	4,8	1,46	6,12	49,94	46,94
			S3	Superficial	5,23	4,75	3,38	16,15	34,53	49,32
			S4	Superficial	5,48	4,95	49,40	20,37	42,15	37,47
SUL	33°52'0.00"	55°32'60.00"	A	Profundo	3,65	5,3	3,84	34,61	44,43	20,97
Relincho	34°19'0.00"	57° 1'60.00"	Ñandú Sur	Superficial	5,02	5,6	4,00	31,00	43,20	25,80
			Blanqueal	Profundo	3,2	5,6	2,17	26,00	54,86	19,14
			Don Julio	Superficial	2,57	5,6	9,54	45,91	30,96	23,13
			Bonilla	Profundo	3,05	5,6	5,70	22,00	52,80	25,20
			Corral Casa	Profundo	4,74	5,55	0,73	35,00	41,94	23,06
			Los Zorros	Profundo	4,98	5,4	2,60	44,00	33,73	22,27
San Claudio	35°56'32.14"	61°12'9.73"	6	Profundo	4,18	6,2	0,00	53,67	23,17	23,17
			7	Profundo	2,75	6,2	0,00	56,74	23,60	19,67
Chilcas	36°30'0.00"	58°30'0.00"	B	Profundo	5,62	6,2	0,00	25,00	48,59	26,41
			C	Profundo	5,7	6,2	0,00	23,00	54,94	22,06

abordaje de los cambios en la vegetación generados en las cuencas de los sistemas lacustres, atribuibles a variaciones climáticas y ambientales a mayor escala.

A partir de esos *proxy records* se ha aumentado el conocimiento sobre la historia de esos cuerpos de agua (García-Rodríguez et al. 2010; Inda et al. 2006), sobre las variaciones relativas regionales del nivel del mar, para el Holoceno (Bracco et al. 2011b) y sobre la historia climática regional (Bracco et al. 2011a; del Puerto et al. 2011, 2013ayb; Inda et al. 2006).

El registro paleoclimático del Holoceno comienza con la transgresión marina que da origen precisamente a la formación de las lagunas costeras (Bracco et al. 2011b). El análisis integrado de la información generada ha permitido ensayar un modelo de evolución paleoambiental para el Holoceno medio y tardío en la región:

- ▶ **7.000-5.000 a<sup>14</sup>C AP.** Durante este periodo el mar creció hasta superar el nivel actual entre 4 y 5 metros (Bracco et al. 2011b). Este evento, conocido como Máximo Transgresivo del Holoceno, fue acompañado por condiciones climáticas más cálidas y húmedas (del Puerto et al. 2011). Como consecuencia de un nivel de base alto se generaron bañados salobres y marismas en las

**Tabla 2.** Correlación de Pearson entre variables bioclimáticas, abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos identificados mediante el análisis fitolítico e índices climáticos calculados a partir de la relación de células cortas. Se destacan las correlaciones estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Variables bioclimáticas	Grupos taxonómicos e índices								
	Danth.	Arist.	Poeae - Aveneae	Androp. - Panic.	Chlor. - Eragr.	Stip.	IH	IT	C3:C4
Temperatura (t°) media anual	-0,65	<b>0,79</b>	-0,49	0,04	-0,11	0,66	-0,15	<b>-0,73</b>	<b>-0,74</b>
Estacionalidad en la t°	0,18	-0,11	-0,23	-0,12	<b>0,84</b>	<b>-0,73</b>	<b>0,93</b>	-0,40	-0,30
T° estación húmeda	0,11	0,36	-0,24	-0,37	0,69	-0,47	<b>0,83</b>	-0,26	-0,26
T° media estación seca	0,00	-0,09	0,08	0,46	-0,65	0,83	<b>-0,84</b>	0,09	0,14
T° estación cálida	-0,69	<b>0,86</b>	-0,57	0,01	0,13	0,48	0,12	-0,48	-0,66
T° media estación fría	-0,58	<b>0,76</b>	-0,36	0,03	-0,25	0,71	-0,30	-0,20	-0,38
Precipitación (pp) media anual	-0,34	0,44	-0,16	0,36	-0,46	<b>0,90</b>	-0,62	-0,12	-0,21
Estacionalidad en pp	-0,04	-0,10	-0,43	-0,05	<b>0,81</b>	-0,61	<b>0,89</b>	-0,56	-0,46
Pp estación húmeda	-0,50	0,61	-0,72	0,33	0,18	0,67	0,07	<b>-0,73</b>	<b>-0,76</b>
Pp estación seca	-0,13	0,26	0,18	0,24	-0,67	<b>0,79</b>	<b>-0,81</b>	0,25	0,16
Pp estación cálida	-0,39	0,56	<b>-0,82</b>	0,17	0,47	0,39	0,43	<b>-0,83</b>	<b>-0,82</b>
Pp estación fría	-0,15	0,14	0,20	0,34	-0,71	<b>0,79</b>	<b>-0,87</b>	0,24	0,17

zonas bajas y empezó el desarrollo de las lagunas costeras, a partir de entonces golfos o ensenadas abiertas al mar. La vegetación dominante era de praderas invernales y estivales, con buen desarrollo de comunidades hidrófilas, halófilas y palmares. Con un nivel de base más alto y el mar invadiendo las zonas bajas, la obstrucción de los drenajes habría generado extensos bañados de agua dulce en las planicies de cotas más altas (Bracco et al 2012).

- ▶ **5.000-2.500 a<sup>14</sup>C AP.** El mar comenzó a descender, dando lugar a la conformación de extensos bañados salobres en las planicies bajas y al paulatino cierre de las lagunas costeras (García-Rodríguez et al. 2010). Este descenso se produce junto con una disminución de la temperatura y precipitaciones menores y/o más estacionales, con déficit en el periodo estival. La disminución/estacionalidad de las precipitaciones habría llevado a la concentración de sales en las planicies bajas, demorando el desarrollo de los humedales y lagunas dulceacuícolas. Los bañados de zonas altas debieron permanecer inundados al menos una parte del año debido a que los drenajes aún no estaban desarrollados plenamente.
- ▶ **2.500-200 a<sup>14</sup>C AP.** Durante este periodo el clima y el nivel del mar fueron aproximándose a su condición actual, aunque con oscilaciones menores (Bracco et al 2011b). El clima comenzó a estabilizarse, instaurándose condiciones similares a las actuales hacia el 2000 a<sup>14</sup>C AP. El retroceso del nivel del mar y el incremento en las precipitaciones habrían favorecido el lavado de las sales con la consecuente expansión y dulcificación de los bañados de cota baja y las lagunas costeras. Por contraste, los humedales de cotas altas comenzaron a retroceder, debido a la desobstrucción de los drenajes por la disminución del nivel de base. Esto, junto al aumento en las precipitaciones, llevó al encaje de cursos principales y a la captura de sistemas hídricos menos competentes, afectando considerablemente la carga hídrica de estas zonas (Bracco et al. 2012). A pesar de la estabilización general del ambiente



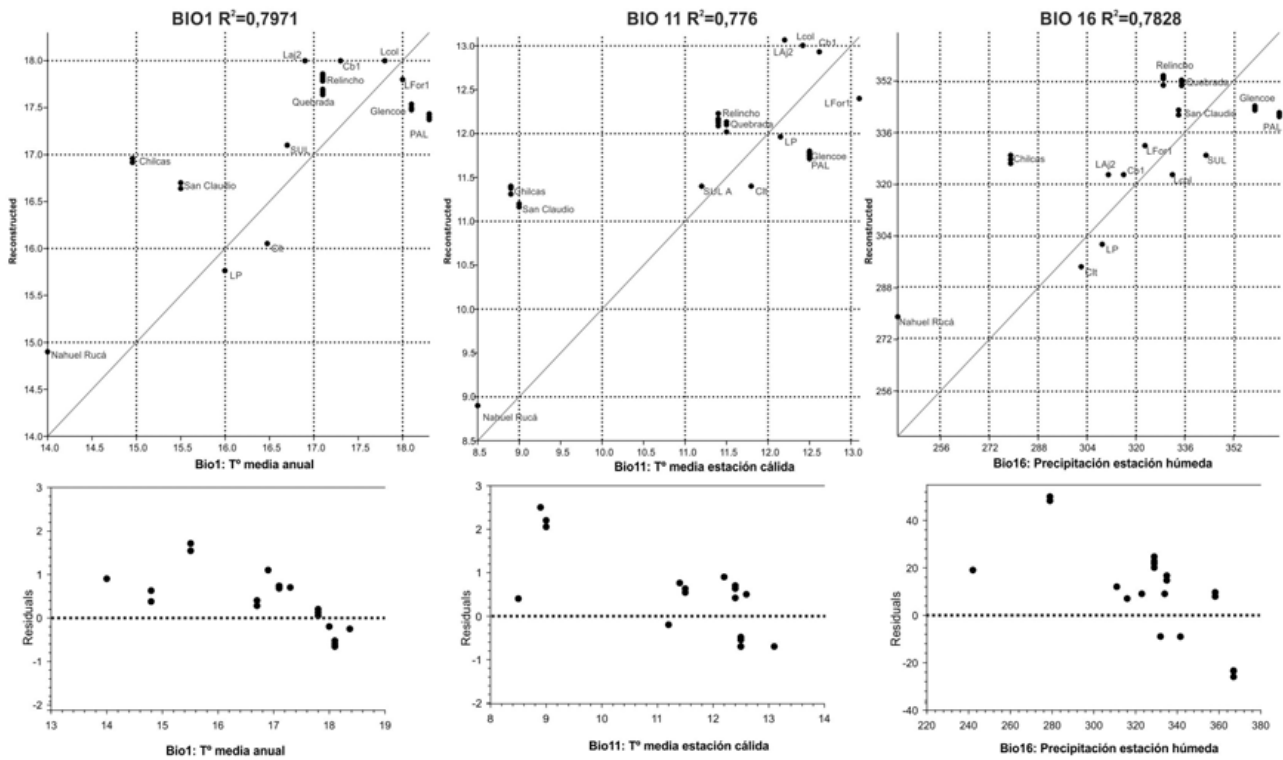
para este periodo, el clima mostró dos pulsos importantes en el último milenio. Entre el 1.500-1.000 a14C AP se registra una fase más cálida y húmeda, asimilables a la Edad Cálida Medieval (del Puerto et al. 2011a). Habría estado acompañado por cambios en la vegetación, denotados por el mayor desarrollo de la vegetación arbórea, hidrófila y pastizales estivales (del Puerto et al. 2011). El segundo pulso, que alcanza el periodo histórico, se conoce como la Pequeña Edad de Hielo y se caracterizó por condiciones más frías y secas. Se desarrolló entre el 1.500 y el 1.900 AD (del Puerto et al. 2013a).

## Estimaciones cuantitativas de los cambios climáticos holocenos

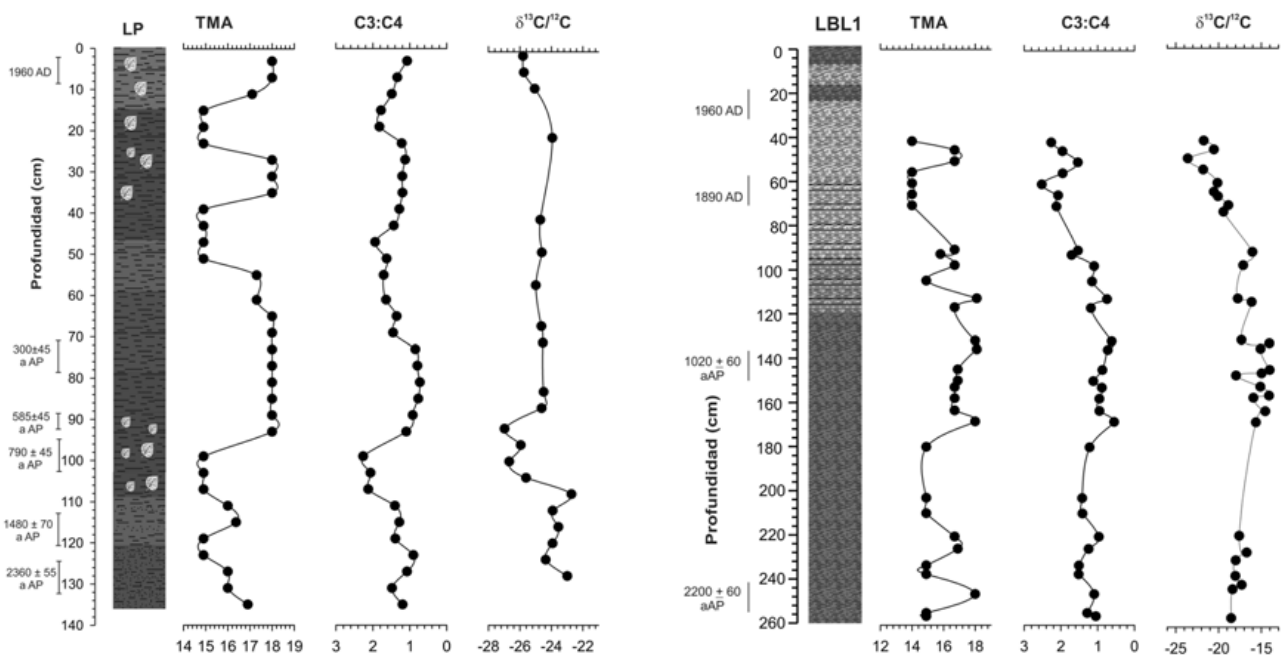
Las reconstrucciones paleoambientales para el Holoceno en la región de los Pastizales del Río de la Plata han sido mayormente de carácter cualitativo, presentando modelos de amplios rangos climáticos (como “templado”, “sub-húmedo”, “tropical”) o denotando cambios en relación con periodos previos o sucesivos (condiciones “más secas”, “más cálidas”, etc.). En respuesta a esta situación, recientemente se ha comenzado a explorar la posibilidad de establecer, a partir del análisis fitolítico, estimaciones cuantitativas de los cambios ambientales para el Holoceno tardío en el sudeste uruguayo. Para ello, en primer lugar se llevó a cabo la calibración fitolitos-clima actual, relevando la distribución y abundancia de ciertos taxones en relación a variables climáticas de interés, a lo largo de un gradiente latitudinal y tratando de abarcar distintas condiciones climáticas y ambientales. Para ello se utilizaron principalmente las bases de datos de las parcelas bajo exclusión ganadera, a las que se incorporaron muestras superficiales de distintos sistemas límnicos estudiados en distintas partes del país y la región, con la finalidad de ampliar el rango climático-ambiental y, por ende, la cantidad de análogos potenciales. Los modelos de calibración silicofitolitos-clima resultaron óptimos para temperatura media anual ( $r^2$  0,797), temperatura media de la estación fría ( $r^2$  0,776) y precipitación en la estación húmeda ( $r^2$  0,7782) (Figura 3).

Posteriormente, se reconstruyeron los cambios cuantitativos de aquellas variables climáticas para las que el modelo de calibración resultó óptimo, efectuando una sustitución “tiempo por espacio” (Jackson y Williams 2004) al aplicar la técnica del Análogo Moderno (Birks et al. 2010) a las asociaciones fósiles de tres testigos paleolimnológicos de alta resolución para el Holoceno tardío: LP1-2 (Laguna de Peña), LBI1 (Laguna Blanca) y LN3 (Laguna Negra). Sobre estos mismos testigos se llevaron a cabo análisis de la composición isotópica de la materia orgánica, como una vía independiente de intercalibrar la señal  $C_3:C_4$  de los fitolitos con la señal  $\delta^{13}C$  de la materia orgánica. En los sectores de cada registro con mayor aporte de la cuenca, se halló una alta correspondencia entre las variables climáticas reconstruidas cuantitativamente, la relación  $C_3:C_4$  de los fitolitos de células cortas de gramíneas y la señal  $\delta^{13}C$  de la materia orgánica (Figura 4). Aplicando los modelos de calibración fitolitos-clima y la intercalibración fitolitos-isótopos, se generó un modelo de los cambios climáticos con énfasis en los últimos 1500 años, identificando tres principales periodos. El más antiguo, que se extendió hasta el 700 AD, estuvo caracterizado por condiciones templadas y húmedas. Un segundo periodo, que alcanzó el 1200 AD, se caracterizó por condiciones cálidas y húmedas, siendo correlacionable con el Periodo Cálido Medieval (del Puerto et al. 2013a). El último periodo, que se extiende hasta tiempos recientes, se caracteriza por una alta variabilidad. En su interior se registraron tres fases sub-húmedas y templadas a frías, con sus máximos entorno al 1300, 1600 y 1900 AD, pudiendo corresponder a los pulsos máximos de la Pequeña Edad de Hielo (del Puerto et al. 2013 a y b).

En conjunto, la información generada mediante la combinación de estudios comparativos, estimaciones cuantitativas a partir de modelos de calibración fitolitos-clima y la aplicación al análisis multi-proxy de registros paleoambientales de alta resolución, sustenta y reafirma el potencial de los silicofitolitos como indicadores paleoambientales en ecosistemas de pastizales templados.




**Figura 3.** Modelos de calibración fitolitos-clima. Arriba, gráficos de dispersión de valores observados versus estimados. Debajo, gráficos de dispersión de valores residuales versus observados.



**Figura 4.** Distribución vertical de valores de temperatura media anual (TMA) reconstruida, relación C3:C4 estimada a partir de células cortas silicificadas de gramíneas y  $\delta^{13}C$  de la materia orgánica para el testigo LP y el sector superior del testigo LBL1.

## Referencias

- Altesor, A., M. Oesterheld, E. Leoni, F. Lezama & C. Rodríguez. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. **Plant Ecology** 179: 83-91
- Baker, R.G., G.G. Fredlund, R.D. Mandel & E.A. Bettis III. 2000. Holocene environments of the central Great Plains: multi-proxy evidence from alluvial sequences, southeastern Nebraska. **Quaternary International** 67: 75-88
- Birks, H.J.B., Heiri, O., Seppa, H. & Bjune, A.E. 2010. Strengths and weaknesses of quantitative climate reconstructions based on Late-Quaternary biological proxies. **Open Ecology Journal** 3, 68-110
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Capdepon, I., Panario, D. & García-Rodríguez, F. 2012: Evolución ambiental y constructores de cerritos en la región de India Muerta. Un replanteo. **Actas de las III Jornadas del Cenozoico del Uruguay**, Trabajo 047, 6pp. Montevideo.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Panario, D., Castiñeira, C. & García-Rodríguez, F. 2011a: Relationship between climate change and the emergence of moundbuilders in SE Uruguay: new opal phytolith evidences from sediment cores. **Quaternary International** 245: 62-73.
- Bracco, R., F. García-Rodríguez, H. Inda, L. del Puerto, C. Castiñeira & D. Panario. 2011b. Niveles Relativos del Mar Durante el Pleistoceno Final – Holoceno en la Costa del Uruguay. En: F. García-Rodríguez (Comp.) **El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay**. UCUR-UdelaR, Montevideo, p.: 65 – 94.
- del Puerto, L., R. Bracco, H. Inda, O. Gutiérrez, D. Panario & F. García-Rodríguez. 2013a. Assessing links between late Holocene climate change and paleolimnological development of Peña Lagoon using opal phytoliths, physical and geochemical proxies. **Quaternary International** 287:89-100.
- del Puerto, L.; García-Rodríguez, F; Bracco, R.; Inda, H.; Capdepon, I; Castiñeira, C.; Blasi, A; Fort, H. & Mazzeo, N. 2013b. Historia ambiental y dinámica cultural para el Holoceno medio y tardío en el este del Uruguay. **En\_Clave Inter. Procesos, contexto y resultados del trabajo interdisciplinario**: 99-110. EI-UdelaR.
- del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, N. & Rodríguez, A. 2011: Evolución Climática Holocénica para el Sudeste del Uruguay: Análisis Multi-Proxy en Testigos de Lagunas Costeras. En: F. García-Rodríguez (Comp.): **El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay**. UCUR-UdelaR, Montevideo, p.: 119 – 156.
- Fernández Honaine, M.F., A. Zucol & M. Osterrieth. 2006. Phytolith Assemblages and Systematic Associations in Grassland Species of the South-Eastern Pampean Plains, Argentina. **Annals of Botany** 98: 1155–1165.
- Fredlund, G.G. & L.L. Tieszen. 1997. Phytolith and Carbon Isotope Evidence for Late Quaternary Vegetation and Climate Change in the Southern Black Hills, South Dakota. **Quaternary Research** 47: 206-217.
- Gallego, L. & R. Distel. 2004. Phytolith Assemblages in Grasses Native to Central Argentina. **Annals of Botany** 94: 865-874.
- García-Rodríguez, F; Stutz, S; Inda, H.; del Puerto, L.; Bracco, R.; Panario. 2010. A multiproxy approach to infer Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation, paleosalinity levels and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. **Hydrobiologia**, 646 (1): 5-20.
- García-Rodríguez, F., L. del Puerto, C. Castiñeira, H. Inda, R. Bracco, P. Sprechmann, & B.W. Scharf. (2001). Preliminary Paleolimnological Study of Rocha Lagoon, SE Uruguay. **Limnologica** 31: 221 – 228.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology** 25: 1965-1978.
- Inda, H.; García-Rodríguez, F; del Puerto, L.; Acevedo, V; Metzeltin, D; Castiñeira, C.; Bracco, R.; Adams, J.B. 2006. Relationships between trophic state, paleosalinity and climatic changes during the first Holocene marine transgression in Rocha Lagoon, southern Uruguay. **Journal of Paleolimnology**, v. 35, p. 699-712.
- Iriarte, J, y E. Alonso. 2009. Phytolith analysis of selected native plants and modern soils from southeastern Uruguay and its implications for paleoenvironmental and archeological reconstruction. **Quaternary International** 193:99–123.

- 
- Smith, F.A. & J. W.C. White. (2004). Modern calibration of phytolith carbon isotope signatures for C3/C4 paleograssland reconstruction. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 207: 277-304.
- Twiss, P. C. (1992). Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. En: **Advances in Archaeology and Museum Science 1**: Phytolith Systematics. Emerging Issues. Rapp, G. Jr. & S. C. Mulholland (eds.): 113-128. Plenum Press, New York.
- Zucol AF. 1998. Microfitolitos de las Poaceae Argentinas: II. Microfitolitos foliares de algunas especies del género Panicum (Poaceae, Paniceae), en la provincia de Entre Ríos. **Darwiniana** 36:29-50.
- Zucol AF. 2000. Fitolitos de poaceae de argentinas: III. Fitolitos foliares de especies del género Paspalum (Paniceae), en la Provincia de Entre Ríos. **Darwiniana** 38: 11-32.
- Zucol AF. 2001. Fitolitos III. Una nueva metodología descriptiva. Asociaciones fitolíticas de Piptochaetium montevidense (Stipeae, Poaceae). **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica** 36:69-85.

# FITOLITOS: PAUTAS PARA LA SISTEMATIZACIÓN DE COLECCIONES DE REFERENCIA

**Alejandro Fabián Zucol**

Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia de Tecnología a la Producción (CICYTTP-CONICET), Laboratorio de Paleobotánica, Diamante, Argentina.

[cidzucol@infoaire.com.ar](mailto:cidzucol@infoaire.com.ar)

## Los silicofitolitos, antecedentes de su tratamiento


En las primeras referencias sobre el estudio de los fitolitos, se observa una tendencia a la clasificación de estos cuerpos desde las distintas disciplinas científicas; así, los botánicos clasificaron las células cortas de gramíneas (Pratt 1934, 1936, 1960; Metcalfe 1960), las biomineralizaciones de ciperáceas (Tomlinson 1971; Ollendorf 1992) o de palmeras (Tomlinson 1961), que posteriormente fueron utilizadas por anatomistas (Ellis 1979), o bien, por estudios fitolíticos centrados en grupos botánicos, como por ejemplo, en las gramíneas (Twiss *et al.* 1969; Brown 1984).

Los estudios paleontológicos, y posteriormente los arqueológicos, plantearon la necesidad de un conocimiento integral de la variabilidad fitolítica presente en el reino vegetal, de modo que desde sus comienzos podemos citar las primeras clasificaciones abiertas en los trabajos de Ehremberg (1841a y 1841b, 1854) y posteriormente sobre esta base Deflandre (1963) realiza una revisión de esta clasificación sumando los trabajos de Baker, Duval-Jouve, Frenguelli, Smithson y Prat. Esta clasificación usa los epítetos paragenéricos y paraespecíficos que describiera Ehremberg, de modo tal, que los fitolitos de las Equisetaceae, por ejemplo, recibían el nombre de *Lithodermatium* y entre los fitolitos de Poaceae las formas elongadas el de *Lythostilidium*, siendo *L. denticulatum* un fitolito elongado de contorno denticulado.

Esta metodología de tratamiento y clasificación sería retomada una década más tarde por los trabajos de Bertoldi de Pomar (1971) quien enuncia una clasificación *ad-hoc* reemplazando las denominaciones originales, hecho que señalan Taugourdeau-Lantz *et al.* (1979), quienes por la aplicación del principio de prioridad del Código de nomenclatura botánica consideran que los nombres originales dados por Ehremberg resultan los válidos, proponiendo un nuevo sistema clasificatorio que contempla ambas propuestas.

Estas dos tendencias de tratamiento y clasificación, fueron denominadas previamente (Zucol, 1995) como ortotaxonómicas y parataxonómicas. Las clasificaciones ortotaxonómicas son aquellas que se basan en la descripción de fitolitos de ortotaxa o ejemplares actuales de asignación sistemática válida, y las clasificaciones parataxonómicas están basadas en parataxa o categorías de fitolitos netamente morfológicas que origina un sistema de clasificación artificial.

Con posterioridad, y en especial a partir de los 90, diferentes sistemas clasificatorios fueron ensayados considerando grupos sistemáticos restringidos (*v.g.* Mulholland & Rapp 1992; Twiss 1992) o bien sistemas abiertos (*v.g.* Pearsall & Dinan 1992; Albert 1995; Parra & Flórez 2001), y sistemas focalizados en una flora o un yacimiento o depósito de carácter regional (Kondo *et al.* 1994, Alexandre *et al.* 1997; Carnelli *et al.* 2004; Blinnikov 2005); lo cual ha sumado a los fenómenos naturales de multiplicidad y redundancia de los fitolitos (Rovner 1971; Rovner & Russ 1992) una cuantiosa cantidad



de denominaciones y modos de tratamiento. Siendo para finales de los 90 que un grupo de investigadores australianos remarcan la necesidad de un tratamiento universal para los fitolitos (Bowdery *et al.* 1998, 2001; Hart *et al.* 2000; Lentfer *et al.* 2000). La propuesta de estos autores fue universalizar los patrones descriptivos utilizados para definir los tipos morfológicos de los fitolitos, como primera instancia en la búsqueda del tratamiento de los mismos. Luego de ello durante el 2000, se conformó una comisión al respecto, y para el Cuarto Encuentro Internacional de Investigaciones Fitólíticas se publicó un protocolo para la nomenclatura de fitolitos (Madella *et al.* 2002). Más tarde se presentó a la comunidad científica el *International Code for Phytolith Nomenclature 1.0* (ICPNWG 2005). En este, se enuncian una serie de descriptores fitolíticos, los cuales han resultado ser aceptados por la mayoría de los investigadores de la temática, y se propone un primer ensayo de denominación de los morfotipos o propuesta nomenclatural, la cual, debido a su compleja aplicación y/o a no seguir los principios, reglas y recomendaciones del ICBN (*International Code for Botanical Nomenclature*, McNeill *et al.* 2012), no ha sido cabalmente utilizado hasta la fecha.

## Sistematización del material vegetal y microfósiles


Para la sistematización de este tipo de restos, en primera instancia, se debe tener en cuenta que estas colecciones se forman a partir de dos fuentes principales: materiales provenientes de vegetales actuales, los cuales permiten poder definir no solo las formas existentes en un taxa, sino también la variabilidad y la abundancia de las mismas en un grupo sistemáticamente definido. Mientras que la segunda fuente sería la de los materiales dispersos provenientes de diferentes tipos de depósitos, ya sea eólicos, pedológicos, arqueológicos o sedimentológicos, los cuales van a estar conformados, no solamente por materiales originados a partir de una comunidad vegetal, sino también, pueden resultar de distintos fenómenos de redepósitos naturales o antrópicos.

Estas dos fuentes de materiales, que en el pasado han llevado a establecer sistemas clasificatorios discrepantes, en la actualidad tienden a ser desarrolladas bajo un mismo tratamiento; para ello, solo se debe tener en cuenta sus características de origen y el objeto de estudio: el fitolito considerado como morfotipo fitolítico para nuestro caso. Es de este modo que, las colecciones de referencia adquieren mayor importancia, ya que no sólo puede permitir la comparación de asociaciones de similar origen, sino también, nos permiten conocer la presencia, variabilidad en forma y abundancia de los distintos morfotipos en los grupos vegetales, y esto nos permite la reducción del error de inferencia con que se cuenta en estos trabajos como consecuencia de los fenómenos de multiplicidad y redundancia.

Resta entonces para avanzar en estas pautas de sistematización de colecciones de referencia, poder establecer la clasificación de los objetos de estudio. Ya se mencionó la propuesta de descriptores comunes para el caso de los fitolitos, y otro tanto se ha realizado recientemente para los granos de almidón (ICSN, 2011), por lo cual la tarea fundamental para el avance de estas disciplinas resulta, en la actualidad, la de aunar los conocimientos en función de definir los morfotipos y su variabilidad en el reino vegetal. Esta tarea no puede ser realizada de modo personal o unilateral, y es allí que la creación de diferentes colecciones de referencias coordinadas bajo una misma reglamentación en la clasificación y tratamiento de estos materiales cobra verdadera importancia.

Desde hace unos años investigadores de distintos países de Latinoamérica se encuentran aunando esfuerzos con la finalidad de establecer la vinculación de las colecciones de referencias, es en este marco de trabajo, que en la presente contribución se delinean las pautas fundamentales a tener en cuenta para establecer, sistematizar e informatizar las colecciones de microrestos.

Si bien en el pasado los sistemas de catalogación y colección de materiales biológicos estaban reservados a Instituciones que resultaban grandes reservorios de distinto tipos de colecciones



científicas, en las últimas décadas merced al avance de la computación, de las comunicaciones, la informática aplicada al conocimiento de la biodiversidad, los sistemas de teledetección e información geográfica, la propia Internet y un crecimiento exponencial de las posibilidades de publicación de los trabajos científicos, se comienza a hablar de Bioinformática como la aplicación de tecnología de computadores a la gestión y análisis de datos biológicos. Por lo que estas Instituciones basadas en material biológico tomado del medio ambiente y conservado, no resultan el único medio de conservación y monitoreo de la biodiversidad, las propias reservas naturales y sitios protegidos pueden tener su biodiversidad registrada y hasta monitoreada en tiempo real.

Para establecer colecciones de referencias como en nuestro caso, no basta con los conceptos básicos de las colecciones biológicas que describiremos a continuación, sino también, el realizar esto con miras a integrar cada base de datos a un sistema común que permita intercambiar y coordinar la información, los protocolos y los estándares. En este sentido en la actualidad existen distintas organizaciones destinadas a integrar la información sobre la biodiversidad, como por ejemplo la *Global Biodiversity Information Facility* ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)), que no solamente alberga información biológica sino también brinda soportes para su informatización. Pero independientemente de la finalidad última de esta posible red de información de microfósiles vegetales, debe considerarse los estándares y protocolos que se utilizan para la confección de estas redes con miras a su integración. Así por ejemplo, el *Darwin Core 2* (<http://rs.tdwg.org/dwc/>) es un estándar especificado en un esquema XSD (basado en XML o *Extensible Markup Language*) diseñado para permitir el intercambio de datos primarios de biodiversidad, que se hayan registrado en colecciones biológicas o como observaciones georeferenciadas. Como campos primarios y obligatorios para la carga de información este estándar solicita el número de catálogo (identificación del registro individual), el código de colección e Institución (la identificación de la colección e Institución donde esta se alberga) y la fecha de última modificación del registro.

Estos campos resultan de importancia para tratar la sistematización de nuestras colecciones, ya que en primera instancia debe tener una existencia física real, una colección debe albergar el material biológico de forma ordenada y conservada, y facilitar las posibilidades de consulta de estos materiales; si bien existen colecciones personales, en su mayoría las colecciones científicas se ubican en Instituciones que brindan el reaseguro de las mismas y su manera de sistematizarse es por medio de un código de identificación del ejemplar (identificación del registro individual) y una sigla o código que identifica a la colección donde se encuentra y la Institución.

En este punto se plantea un interrogante, que es: ¿qué tipo de materiales debe conservar e identificar una colección de referencia de microfósiles? Las posibles fuentes y tipos de materiales podrían ser: un ejemplar vegetal, del cual los microrestos podrían estar en el propio ejemplar, en los materiales obtenidos de su procesamiento o en preparados microscópicos de los mismos, o bien de una muestra de un artefacto, un suelo, un depósito sedimentario, de los cuales también se puede considerar la propia muestra, los resultados de su procesamiento o los preparados microscópicos realizados para su observación. El modo más generalizado de sistematizar esta información en colecciones micropaleontológicas es mediante la creación de una colección de preparados microscópicos, y a su vez, cuando se quiere hacer una referencia a un determinado material de estos preparados, se utiliza un código topológico de coordenadas que demarcan su ubicación en el preparado microscópico referenciado.

Los medios de montaje resultan variables según los distintos tipos de restos a observar y conservar, pero los códigos de ubicación pueden ser una referencia constante que permita su rápida consulta.

Los preparados microscópicos obtenidos a partir de ejemplares vegetales requieren que se los caracterice mediante la información sistemática y anatómica (familia, especie, órgano del material procesado) y de modo similar a lo que se realiza en colecciones de material vegetal herborizado, los

datos de referencia del ejemplar (si este es conservado en un Herbario, acompañarlo por su código de identificación) no solamente la información sobre su colector e identificador, sino también, fecha de recolección, lugar y demás características mesológicas que puedan vincularse, al momento y dentro de las posibilidades con la finalidad de georeferenciarlos resulta conveniente acompañarlo por las coordenadas de posicionamiento del mismo.

Las variaciones para el registro de materiales obtenidos a partir de muestras surgirán de la logística del colector de las mismas, si se han obtenido por ejemplo de un perfil sedimentológico, las características estratigráficas y denominaciones de las distintas muestras, su ubicación geográfica, colector y fecha de obtención, como así también el tipo de procesamiento que se utilizó para su obtención serían algunas de las principales características que deberían acompañar a la identificación del preparado microscópico de la colección.

## Particularidades de las colecciones de referencia de fitolitos

De acuerdo a lo planteado, resulta entonces conveniente establecer las colecciones mediante la identificación de los preparados microscópicos del material procesado, si bien cada uno de ellos puede poseer distintos elementos o morfotipos; su ubicación puntual en cada preparado fue recientemente tratada, por lo cual para establecer una colección de referencia de fitolitos puede referenciarse mediante el código de identificación del preparado y su ubicación en el mismo.

Surgiendo un nuevo interrogante sobre ¿Qué morfotipos serán catalogados y cómo serán denominados? A modo de ejemplo se pueden tomar dos bases de datos que en los últimos años han tenido un gran desarrollo, y que resultan de acceso libre para su consulta vía internet, una es el resultado de la labor que comenzara a realizar Deborah M. Pearsall con el Proyecto sobre fitolitos de la flora de Ecuador y que continua mediante el desarrollo del personal del Laboratorio de Paleobotánica (University of Missouri-Columbia) o comúnmente denominado *MU phytolith database* (Pearsall, 2011). Esta base de datos se encuentra desarrollado bajo un formato *FileMaker*, lo cual permite una consulta abierta bajo el número de variables que se requieran para la búsqueda con campos como: código de identificación y sistemática (familia, género, especie) y campos abiertos destinados a comentarios y descripciones, todas estas características se vinculan con una imagen del fitolito caracterizado, por lo cual no establecen los morfotipos fitolíticos descriptos, salvo en forma gráfica.

La otra base de datos o catálogo *on-line*, es la que surge de los trabajos que han realizado en el pasado el *Grup d'Estudis Paleoecològics i Geoarqueològics* (GEPEG), quienes han establecido con ello, una colección de referencia de sus materiales de estudio (Albert *et al.* 2011), y que se puede consultar en el sitio web de este grupo (GEPEG 2014), que ha sido denominada *PhytCore* (PHYTCORE 2014). En donde mediante el uso de *Active Server Pages* (ambiente de aplicación abierto que permite combinar código HTML (*HyperText Markup Language* o lenguaje de marcas de hipertexto), *scripts* y componentes *ActiveX* del servidor para crear páginas dinámicas), se permite al usuario realizar búsquedas dinámicas, mediante la utilización de los siguientes campos: morfotipo, si es uni o multicelular, características del vegetal (familia, especie, órgano), el tipo de muestra, la región y país de origen e información del sitio arqueológico al que se vincula la muestra. De acuerdo a las pautas de consulta, la búsqueda responde con un número variable de imágenes denominadas por el código identificador de la muestra en donde se encuentra ese morfotipo, y cada una de ellas hipervinculada a un registro que detalla las características pormenorizadas del material.

Este catálogo, formado a partir de material obtenido de vegetales, suelos modernos y material arqueológico y paleoantropológico, utiliza una codificación (PHYTCORE 2014) para el tipo de muestra y ubicación geográfica, que en forma conjunta forman el código con que denominan las ilustraciones (tipo de muestra, ubicación geográfica, año de recolección, código de muestra, fracción y código de



ilustración) y registros. Este catálogo, si bien hace referencia al origen de los materiales, se encuentra basados en los morfotipos descriptos, los cuales son definidos por su morfología, que si bien mencionan que se encuentra en desarrollo, en el catálogo actual se basa en las definiciones del *International Code for Phytolith Nomenclature* 1.0 (ICPNWG 2005), creando un listado de morfotipos, como por ejemplo: *Bulliform Fan Shape* para definir a los fitolitos originados a partir de células buliformes con forma de abanico, o *Spheroid echinate* para los fitolitos globulares de superficie espinosa; si bien estos se ajustan a la propuesta del ICPN 1.0, también definen nombres demasiados complejos o pocos descriptivos como *Cylindroid psilate diagonal line*, *Eppidermal Appendage Hair Phoeniculum Type* o *Multicellular Long Cell wavy double profile*, los cuales si bien se encuentran desarrollados con la finalidad de explicitar las características del morfotipo, se acompañan de un acrónimo en algunos casos, como por ejemplo EA PR para los *Epidermal Appendages Prickles*, para simplificar su denominación y uso. Estos morfotipos se encuentran descriptos de acuerdo a su morfología, como también por su origen anatómico.

Este caso es una muestra de lo dificultoso que ha resultado en las últimas décadas aunar el modo de definir y denominar a los morfotipos fitolítico. Ya durante el desarrollo de las discusiones llevadas a cabo por la comunidad científica para la realización del ICPN 1.0, se planteó la posibilidad de utilizar las normativas delineadas por el ICBN (*International Code for Botanical Nomenclature*, Greuter *et al.* 2000, en ese momento), un código realizado para la nomenclatura vegetal que incluye el modo de denominar a fragmentos de los vegetales o morfotaxa, de modo que, resultaría adecuado ajustarse a las reglas del ICBN para la definición de estatus, tipificación, nombres prioritarios (Capítulo II, Sección 1, 2 y 3, ICBN) y nombres de especies (Capítulo III, Sección 4, ICBN) y que permitiría contemplar algunas de las viejas clasificaciones parataxonómicas de fitolitos, las cuales tendrían prioridad de denominación y permitiría establecer sinonimias de los morfotaxa definidos, eliminando también las posibilidades de denominación tri a multinominales. La metodología y pautas de aplicación en material proveniente de vegetales actuales y fósiles se desarrollaron en Zucol (2001) y Zucol y Brea (2005) respectivamente. Cabe aclarar que con posterioridad a estas publicaciones el ICBN (McNeill *et al.* 2012), reemplaza la utilización de morfotaxa como denominación de categoría taxonómica, por la de taxón fósil (Zijlstra 2014), definido como *A taxon (diatom taxa excepted) the name of which is based on a fossil type (Art. 1.2 and 13.3)* (Glosario de McNeill *et al.* 2012).

La posterior propuesta del ICPN no permitió seguir esta discusión, por lo cual debido a la necesidad que todos los investigadores tenemos de avanzar con nuestros estudios, se optó, al igual que lo descripto para el catálogo del GEPEG, en la conformación de un sistema de síntesis de las distintas clasificaciones, de uso grupal, que permita la definición y denominación de los morfotipos (Zucol *et al.* 2010, Patterer *et al.* 2011). En este sistema, además de su denominación y diagnosis, se le dio a cada taxon fitolítico un acrónimo para facilitar su uso en la implementación de los estudios a modo de denominación informal fuera de los ya denominados acorde a las normativas del ICBN (McNeill *et al.* 2012). En forma paralela a ello, para cada taxon fitolítico definido, se estableció el listado de sinonimias o equivalencias, de modo tal, que estos puedan ser comparados con resultados obtenidos a partir de otros esquemas clasificatorios; y en forma complementaria, se fue recopilando la información sobre el origen botánico de cada taxon fitolítico, no solamente a partir de observaciones de los integrantes del grupos de investigación y material de referencia de nuestra colección, sino también, de lo descripto por otros autores.

Entre estas dos tareas, establecer las equivalencias nomenclaturales resulta de importancia no solamente al momento de unificar los contenidos de las colecciones de referencia, sino también, con miras a obtener un sistema nomenclatural universal. Mientras que realizar bases de datos que nos permitan establecer el origen botánico de un taxon fitolítico, acrecienta nuestro conocimiento sobre la variabilidad del mismo en los distintos grupos botánicos, y con ello, incrementa las posibilidades de inferencias sistemáticas, ecológicas y ambientales.

## Consideraciones finales

El desarrollo de los análisis fitolíticos de las últimas décadas ha generado un cuerpo de conocimiento que avanzó en forma paralela en distintas especialidades, lo cual ha dificultado su crecimiento en un único *corpus* temático, es por ello, que se requiere de su avance multidisciplinario para la integración de los resultados de las investigaciones actuales.

La principal acción a llevar a cabo en esta integración de los conocimientos se centra en la posibilidad de vincularlos, tanto en lo referente a los resultados de investigaciones previas como las que se están actualmente realizando, de modo tal de poder lograr un avance colectivo en la disciplina.

Si bien uno de los principales obstáculos en esta meta ha sido la multiplicidad de clasificaciones y tratamientos, esto no resulta un obstáculo infranqueable como lo demuestran los catálogos MU *phytolith database* y *PhytCore*, por lo cual la realización de colecciones de referencia integradas resultan una necesidad de urgencia para la comunidad científica que no puede estar esperando la definición de un sistema nomenclatural universal cuando sus investigaciones generan numeroso material de referencia.

En el presente artículo se han analizado valiosas pautas a tener en cuenta para la realización de colecciones de referencias de material fitolítico, muchas de las cuales pueden ser consideradas para colecciones de otros tipos de microfósiles; no solamente en lo operativo, en lo referente a obtención, sistematización y conservación del material, sino también, en lo que hace a su identificación, tratamiento y pautas orientadas a su posterior integración en sistemas de bases de datos.

## Referencias

- Albert, R.M. 1995. Nuevo sistema de análisis descriptivo para fitolitos de sílice. **Pyrenae 26**: 19-38.
- Albert, R.M.; Esteve, X.; Portillo, M.; Rodríguez-Cintas, A.; Cabanes, D.; Esteban, I. & F. Hernández. 2011. **The GEPEG PHYTOLITH-CORE Reference collection**. 8th International Meeting on Phytolith Research, Abstract: 9. Estes Park, Colorado, September 14th to 18th, 2011.
- Alexandre, A.; Meunier, J.-D.; Lézine, A.-M.; Vincens, A. & Schwartz, D. 1997. Phytoliths indicators of grasslands dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 136**: 213-219.
- Bertoldi de Pomar, H. 1971 Ensayo de una clasificación morfológica de los silicofitolitos. **Ameghiniana 8 (3-4)**:317-328.
- Blinnikov, M.S. 2005. Phytoliths in plants and soils of the interior Pacific Northwest, USA. **Review of Palaeobotany and Palynology 135**: 71-98.
- Bowdery, D.; Hart, D.M.; Lentfer, C. & Wallis, L.A. 1998. A universal phytolith key. En: **Actas del Second International Meeting on phytolith Research**:17. Aix en Provence, Francia.
- Bowdery, D.B.; Hart, D.; Lentfer, C. & Wallis, L.A. 2001. A universal phytolith key. En: Meunier, J.D. & Colin F. (Eds.) **Phytoliths: applications in Earth science and human history**. Rotterdam: Balkema : 267-278.
- Brown, D.A. 1984 Prospects and limits of a phytolith key for grasses in the Central United States. **Journal of Archaeological Science 11**: 345-368.
- Carnelli, A.L.; Theurillat J-P. & Madella, M. 2004. Phytolith types and type-frequencies in subalpine-alpine plant species of the European Alps. **Review of Palaeobotany and Palynology 129 (2004)**: 39- 65
- Deflandre, G. 1963. Les phytolithaires (Ehrenberg). Nature et signification micropaléontologique, pédologique et géologique. **Protoplasma 57**: 234-259.
- Ehrenberg, C.G. 1841 a. Über verbreitung und einfluss des mikroskopischen lebens in Süd und Nordamerika. **Monatsbericht der Koiglich Preussischen Akademie der Wissenschaften**: 139-144.

- Ehrenberg, C.G. 1841 b. Nachtrag zu dem Vortrage über Verbreitung und Einfluß des mikroskopischen Lebens in Sud- und Nord-Amerika. **Monatsbericht der Koiglich Preussischen Akademie der Wissenschaften** Berlin, 202--209.
- Ehrenberg, C.G. 1854. **Mikrogeologie**. Leipzig. I, p. I XXVIII et 1--374; Suppl. (s. 1. n. d.) p. 1--88; II, Atlas, p. 1 31, P1. 1 34. 35A, 35B, 36-40.
- Ellis. R.P. 1979. A procedure for standarizing comparative leaf anatomy in the Poaceae. II. The epidermis as seen in surface view. **Bothalia 12 (4 )**: 641-671.
- GEPEG. 2014. **Grup d'Estudis Paleoecològics i Geoarqueològics** [http://gepeg.org/index\\_cas.html](http://gepeg.org/index_cas.html)
- Greuter, W.; McNeill, J.; Barrie, F.R.; Burdet, H.M.; Demoulin, V.; Filgueiras, T.S.; Nicolson, D.H.; Silva, P.C.; Skog, J.E.; Trehane, P.; Turland, N.J. y Hawksworth, D. L. (Eds.). 2000. **International Code of Botanical Nomenclature (Saint Louis Code)**, adopted by the Sixteenth International Botanical Congress St Louis, Missouri, July-August 1999. *Regnum Veg.* 138: v-xviii, 1-474. Koeltz Scientific Books, Königstein - Electronic version (accessed 21 Sept. 2007).
- Hart, D.M.; Lentfer, C.; Wallis, L.A. & Bowdery, D. 2000. A universal phytolith key: Point class. En: **Actas Third International Meeting on Phytolith Research**: 13-14. Tervuren, Bélgica.
- ICPNWG. Madella, M., Alexandre, A. & Ball, T. 2002. International Code for Phytolith Nomenclature. 4th International Meeting on Phytolith Research, Abstract :8. Cambridge, Inglaterra.
- ICSN. 2011. **The International Code for Starch Nomenclature**, <http://www.fossilfarm.org/ICSN/Code.html>, accessed (July 17 2011).
- Kondo, R., Childs, C. & Atkinson, I. 1994. **Opal phytoliths of New Zealand**. Maanaki Whenua Press, Lincoln.
- Lentfer, C.; Wallis, L.A.; Bowdery, D. & Hart, D.M. 2000. A universal phytolith key: Prismatic/ellipsoid/trapezoid (PET) class. **Third International Meeting on Phytolith Research, Abstract**: 14. Tervuren, Bélgica.
- Madella, M., Alexandre, A. & T. Ball, T. 2002 Internacinal Code for Phytolith Nomenclature. **4<sup>th</sup> International Meeting on Phytolith Research, Abstract** :8. Cambridge, Inglaterra.
- McNeill, J.; Barrie, F.R.; Buck, W.R.; Demoulin, V.; Greuter W.; Hawksworth, D.L.; Herendeen P.S.; Knapp S.; Marhold, K. ; Prado, J.; Prudhomme Van Reine W.F.; Smith G.F.; Wiersema, J.H. & Turland N. J. (Eds.). 2012. **International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code)** Electronic version of the original English text <http://www.iapt-taxon.org/nomen/main.php> adopted by the Eighteenth International Botanical Congress Melbourne, Australia, July 2011.
- Metcalfe C.R. 1960. **Anatomy of Monocotyledons**. I. Gramineae. Clarendon Press. Oxford.
- Mulholland, S. & Rapp, G. Jr. 1992. A morphological classification of grass silica-bodies. En: Rapp, G. & Mulholland S. (Eds.), **Phytolith Systematics, Emerging Issues**. Advances in Archaeological and Museum Science, Vol. 1: 65-89. Plenum Press, New York.
- Ollendorf, A.L. 1992. Toward a classification scheme of sedge (Cyperaceae) phytoliths. En: Rapp, G. & Mulholland S. (Eds.), **Phytolith Systematics, Emerging Issues**. Advances in Archaeological and Museum Science, Vol. 1: 91-111. Plenum Press, New York.
- Parra, L.N. S. & Flórez, M.T. 2001 Propuesta de clasificación morfológica para los Fitolitos altoandinos colombianos. **Crónica forestal y del medio ambiente 16**: 35-66.
- Patterer, N.I.; Passeggi E. & Zucol, A.F. 2011. Análisis Fitolíticos de Suelos del Sudoeste de la Provincia de Entre Ríos (Argentina) como una Herramienta para Comprender sus Procesos Pedológicos. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 28(1)**: 132-146.
- Pearsall, D.M. 2011. **Phytoliths in the Flora of Ecuador: the University of Missouri Online Phytolith Database**. [<http://phytolith.missouri.edu>]. With contributions by Ann Biddle, Dr. Karol Chandler Ezell, Dr. Shawn Collins, Dr. Neil Duncan, Amanda Logan, Meghann O'Brien, Sara Stewart, Cesar Veintimilla, Dr. Zhijun Zhao, and Bill Grimm. September 2011.
- Pearsall D.M. & Dinan, E.H. 1992. Developing a phytolith classification system. En: Rapp, G. & Mulholland S. (Eds.), **Phytolith Systematics, Emerging Issues**. Advances in Archaeological and Museum Science, Vol. 1: 37-64. Plenum Press, New York.

- PHYTCORE. 2014. **Phytolith database**. <http://gepeg.org/cercador.asp> y Morphotype catalog [gepeg.org/docs/Morphotype\\_catalog.pdf](http://gepeg.org/docs/Morphotype_catalog.pdf)
- Pratt, H. 1934. Contribution à l'étude systématique des Chloridées. **Societe Botanique de France. Bulletin 81:** 475-491.
- Pratt, H. 1936. La systématique des Graminées. **Annales des Sciences Naturelles-Botanique- serie 10, 18:** 165-258.
- Pratt, H. 1960. Vers une classification naturelle des Graminées. **Societe Botanique de France. Bulletin 107:** 32-79.
- Rovner, I. 1971. Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. **Quaternary Research 1:** 345-359.
- Rovner, I. & Russ, J.C. 1992. Darwin and design in phytolith systematics: morphometric method for mitigating redundancy. En: Rapp, G. y S. Mulholland (Eds.), **Phytolith Systematics, Emerging Issues**. Advances in Archaeological and Museum Science, Vol. 1: 253-276. Plenum Press, New York.
- Taugourdeau-Lantz, J.; Laroche, J.; Lachkar, G. & Pons, D. 1976. La silice chez les vegetaux: Probleme des Phytolithaires (II). **Travaux du Laboratoire de Micropaléontologie, Université Pierre-et-Marie Curie, Paris 5:** 255-303.
- Tomlinson, P.B. 1961 **Anatomy of the Monocotyledons. II. Palmae**. Oxford University Press.
- Tomlinson, P.B. 1971. **Anatomy of the Monocotyledons. V. Cyperaceae**. Clarendon Press, Oxford.
- Twiss, P.C. 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. En: Rapp, G. y S. Mulholland (Eds.), **Phytolith Systematics, Emerging Issues**. Advances in Archaeological and Museum Science, Vol 1: 113-128.
- Twiss, P.C., Suess, E. & Smith, R.S. 1969. Morphological classification of grass phytoliths. **Soil Science society of America Proceedings 33:** 109-115.
- Zijlstra, G. 2014. Important changes in the rules of nomenclature, especially those relevant for palaeobotanists. **Review of Palaeobotany and Palynology** In Press, Accepted Manuscript <http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2014.04.003>
- Zucol, A.F. 1995. Microfitolitos: II. Análisis de las clasificaciones. **Ameghiniana 32 (3):** 243-248.
- Zucol, A.F. 2001. Fitolitos: III. Asociaciones fitolíticas de Piptochaetium montevidense (Stipeae: Arundinoideae: Poaceae). Una nueva metodología descriptiva. **Sociedad Argentina de Botánica, Boletín 36 (1-2):** 69 – 85.
- Zucol, A.F. & Brea M. 2005. Sistemática de fitolitos, pautas para un sistema clasificadorio. Un caso en estudio en la Formación Alvear (Pleistoceno inferior). **Ameghiniana 42 (4):** 685-704.
- Zucol, A.F., Brea, M. & Bellosi, E.S. 2010. Phytolith studies in Gran Barranca (Central Patagonia, Argentina) focused in the Middle Eocene. En: Madden, R.; Carlini, A.; Vucetich G. & R. Kay. (Eds.) **The Paleontology of Gran Barranca: Evolution and Environmental Change through the Middle Cenozoic of Patagonia,** : 313- 336. Cambridge University Press.

# UMA COLEÇÃO DE REFERÊNCIA DE FITÓLITOS (MUSEU NACIONAL, UFRJ) E SEU PAPEL NA PESQUISA ARQUEOBOTÂNICA

**Jorge Mateus<sup>1</sup>, Yann Paranagua<sup>1</sup> & Rita Scheel-Ybert<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, Rio de Janeiro, Brasil.

[jmmateus@mn.ufrj.br](mailto:jmmateus@mn.ufrj.br)

Fitólitos são estruturas microscópicas compostas de dióxido de silício que se formam tanto no interior do vacúolo de células vegetais como em espaços intercelulares. A sílica é absorvida junto com a água do subsolo pelas raízes e se deposita como sílica cristalina ( $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ ) em diversas partes da planta, como caule, folhas, raízes e estruturas reprodutivas, podendo ocorrer em diversos tecidos vegetais como a epiderme, o mesófilo, o esclerênquima e o tecido vascular. O valor diagnóstico destas estruturas para identificar um taxon vegetal é variado; algumas podem ser identificadas ao nível de espécie, como é o caso do *Zea mays*, *Celtis occidentalis* ou *Iva annua*, enquanto outras são menos distintivas, difíceis de caracterizar por forma ou tamanho.

Espécies não relacionadas podem produzir fitólitos semelhantes. De modo geral, identificações a nível de família são mais frequentes, comumente chegando-se a gênero. O potencial diagnóstico dos fitólitos, junto com sua excelente preservação em sedimentos, faz com que seu estudo seja considerado uma valiosa fonte de informação para disciplinas como a Arqueobotânica e a Paleoecologia. Para o desenvolvimento da pesquisa, no entanto, é indispensável a construção de uma base de referência atual. Este trabalho apresenta a coleção de referência de fitólitos atuais que está sendo criada no Laboratório de Arqueobotânica e Paisagem do Museu Nacional (UFRJ).

Amostras atuais de plantas são obtidas a partir de doações de herbários ou coletas de campo. Para cada indivíduo coletado procurou-se analisar separadamente partes dos diferentes órgãos vegetais (caule, folha, flor, fruto). Cada amostra de material vegetal foi incinerada e submetida a tratamento com HCl,  $\text{HNO}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ , lavadas com álcool e transferidas para os tubos onde foram armazenadas. A descrição e identificação dos fitólitos foi realizada em microscópio ótico e de acordo com as recomendações do código internacional para a nomenclatura de fitólitos (ICNP).

Foram estudados os fitólitos identificados em onze espécies de Poaceae e oito espécies de Arecaceae. Os fitólitos observados nas espécies de Poaceae foram agrupados em 17 categorias; para a família Arecaceae foram determinadas 11 categorias.

Os resultados obtidos corroboram os resultados de pesquisas anteriores, além de aportar dados inéditos. No caso de Arecaceae foi encontrada uma variedade de fitólitos maior do que esperada, embora não tenham sido identificados novos tipos diagnósticos.

# ESTUDOS TAXONÔMICOS E COLEÇÕES DE REFERÊNCIAS DE FITÓLITOS NO BRASIL: DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

**Marcia Regina Calegari**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil.

[marciareg\\_calegari@hotmail.com](mailto:marciareg_calegari@hotmail.com); [marcia.calegari@unioeste.br](mailto:marcia.calegari@unioeste.br)

## Introdução

Uso de uma abordagem *multiproxy* para compreender as mudanças de vegetação e a gênese de solos em regiões Neotropicais constitui uma área de investigação de grande interesse, que recentemente tem atraído muita atenção no Brasil. Neste contexto insere-se a análise de fitólitos como uma técnica complementar as análises polínicas, isotópicas, de diatomáceas e de espículas de esponjas, por exemplo.

A análise fitolítica evoluiu em decorrência do avanço técnico e teórico de várias disciplinas científicas, devido a sua aplicabilidade e potencialidade em estudos de etno e arqueobotânica, arqueologia, reconstrução paleoambiental, ciência do solo e evolução da paisagem (Piperno 2006).

Fitólitos são corpúsculos de sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) depositada dentro e ao redor das células vegetais vivas (Piperno 2006). São biomineralizações produzidas por muitas famílias de plantas. A sílica hidratada presente no soluto do solo é absorvida pelo sistema radicular das plantas, transportada vascularmente e precipitada como opala, resultado da evapotranspiração dentro e entre as células de diferentes tecidos da planta (Rovner 1971). A absorção do Si pelas plantas ocorre na mesma ordem da de outros macronutrientes, ainda que o Si não seja considerado um nutriente essencial para as plantas (Epstein 2001; Ma *et al.* 2001). Os fitólitos possuem peso específico entre 2,3 a 1,5  $\text{g.cm}^{-3}$  e índice de refração de 1,458 (Wilding *et al.* 1977), em luz transmitida normalmente apresentam-se translúcidos com cor amarelo-brunada. O tamanho varia entre 2 $\mu\text{m}$  a 1000 $\mu\text{m}$ , mas a maioria se concentra entre 20 $\mu\text{m}$  e 200 $\mu\text{m}$ .

As formas e tamanhos singulares apresentados conferem aos fitólitos significado taxonômico, pois mantêm as características morfológicas próprias da família, gênero ou espécie onde foram produzidos (Piperno 2006). Assim, com base na morfologia e morfometria dos fitólitos, é possível identificar *taxa* em diferentes níveis (espécie, gênero, família, etc.), bem como detectar tipos de vegetação, tais como: Arbórea *versus* savana (Bremond *et al.* 2005); Diversos tipos de vegetação arbórea (Calegari *et al.* 2013a); Pradarias: vegetação  $\text{C}_3$  (Festucoideae – em áreas elevadas/planaltos) *versus* vegetação  $\text{C}_4$  (Chloridoideae e Panicoideae – áreas mais baixas/planícies) (Twiss 1992; Cordova *et al.* 2011).

A capacidade da análise fitolítica de aportar informações sobre o clima do passado e as mudanças de vegetação contribui para o entendimento de questões relacionadas às trajetórias históricas das mudanças climáticas e para lidar com a natureza e extensão do impacto antrópico sobre os ecossistemas. Em geral são empregados em complementação aos estudos polinomórficos e isotópicos em solos e sedimentos (Fredlund & Tieszen 1994). Existem situações em que os fitólitos

são os únicos marcadores biológicos que podem ser usados, pois os grãos de pólen são escassos ou ausentes, devido às condições oxidantes do ambiente onde estão preservados (por exemplo em solos minerais, não hidromórficos) (Moore *et al.* 1991). O conjunto de fitólitos fósseis, assim como as partículas minerais do solo, é passível de erosão, translocação e transporte por agentes como vento, água e animais, a curtas e longas distâncias (Thorn 2008; Osterrieth *et al.* 2009), por isso, podem ser interpretados como registros de mudanças locais e regionais na composição e estrutura da vegetação (Runge 1999).

Uma consistente reconstrução, seja do ambiente seja das atividades culturais, baseada na análise fitolítica depende do nível de conhecimento que se tem da flora atual, da produção de fitólitos e do uso de plantas. Essas informações podem ser obtidas por meio de coleções de referências de fitólitos. As coleções de referências podem ser elaboradas a partir de: (i) cortes de tecido para visualização das células, (ii) de fitólitos obtidos a partir das cinzas de plantas modernas e, (iii) dos fitólitos preservados nos solos. As duas primeiras permitem identificar e caracterizar comunidades de vegetação (nível de família) e a segunda representa o registro da vegetação preservada em sedimentos e solos e representa a assinatura fitolítica de vegetações antigas.

As coleções de referências de fitólitos constituem um meio de minimizar os problemas de multiplicidade (um *taxon* é produtor de variadas morfologias de fitólitos) e redundância (um mesmo morfotipo de fitólito é produzido por muitos *taxa*) reconhecidos por Rovner (1971) como um dos principais aspectos que podem interferir na interpretação de uma assembleia. Assim, quanto mais espécies, subfamílias e famílias de uma fitofisionomia forem estudadas, mais se saberá e/ou minimizará a multiplicidade e a redundância, pois melhor se definirá o significado taxonômico (permite identificar a família, gênero ou espécie de planta que o produziu) o significado ambiental dos morfotipos (permite identificar o ambiente em que as plantas que os produzem se desenvolveram) (Osterrieth *et al.* 2009). Para isto é necessário a elaboração de coleções de vegetações com representatividade local e regional, em nível elevado de discriminação entre as morfologias fitolíticas (Barboni & Bremond 2009).

## Estudos fitolíticos no Brasil

### *Estudos pioneiros...*

A análise, identificação e classificação de fitólitos, em todo o mundo foi lenta, porém persistente e derivou de fontes botânicas e sedimentares (Powers 1992). Embora atualmente esses estudos tenham pouca expressão no Brasil, cabe ressaltar que trabalhos importantes foram realizados em nosso país entre as décadas de 1970 e 1980, ao mesmo tempo em que os fitólitos começaram a ser usados como marcadores de uso e domesticação de plantas (arqueobotânica) em outros países da América do Sul e nos Estados Unidos (Piperno 2006). Naquele momento muitas questões fundamentais relacionadas à produção e preservação dos fitólitos ainda não tinham sido exploradas de forma satisfatória e as aplicações ecológicas ainda estavam bastante limitadas à descrição geral de assembleias que caracterizavam e diferenciavam vegetações pretéritas, a partir de amostras de horizontes superficiais de solo.

Atualmente muitas destas questões já foram entendidas e já se conhece um pouco mais sobre a produção, preservação e classificação de fitólitos, assim como se ampliou muito o espectro de possibilidades de aplicação dessa técnica em diferentes disciplinas. Talvez por isto esta técnica venha ganhando adeptos a cada ano, seja em estudos fisiológicos, seja para conhecer o papel do silício no desenvolvimento das plantas, seja para questões taxonômicas (Raitz 2012) ou para questões ambientais (Calegari *et al.*, 2013a; Coe, *et al.*, 2013; 2014).

O primeiro estudo de fitólitos desenvolvido no Brasil data de 1957. Trata-se de um estudo com gramíneas *Panicum maximum*. Ele foi realizado na fundação Oswaldo Cruz, por P. Fontana Jr. e H.

Muth que identificaram a morfologia das estruturas microscópicas de sílica sem esclarecer quais os mecanismos de deposição de sílica. Naquele momento apenas concluíram que se tratava de um mecanismo de natureza enzimática (Fontana Jr & Muth 1957).

Nas duas décadas seguintes L. G. Labouriau e colaboradores publicaram uma série de artigos resultante de uma pesquisa mais ampla de caráter taxonômico e ambiental. Eles iniciaram a elaboração de uma coleção de referencia cujo objetivo principal era obter informações morfológicas e taxonômicas dos corpos de sílicas produzidos por gramíneas e que estes pudessem ser preservados no solo e posteriormente identificados/reconhecidos (Labouriau & Sendulsky 1966, Cavalcante 1968, Campos & Labouriau 1969, Sondahl & Labouriau 1970, Silva & Labouriau 1970, Figueiredo & Handro 1971; Labouriau *et al.* 1973, Labouriau 1983). Com isso esperava-se que a diversidade e frequência dos morfotipos, isto é, a assembleia preservada nos solos que estiveram sob Cerrado (ou outro tipo de vegetação aberta com predomínio de gramíneas), fosse caracteristicamente maior do que daquelas de solo sob floresta e assim seria possível discriminar o tipo de vegetação através da análise de assembleia e caracterizar ambientes. De acordo com Labouriau (1983), essa metodologia poderia prover uma nova abordagem de estudos das relações paleoecológicas entre o Cerrado e as florestas vizinhas.

Outra prioridade do trabalho desse grupo foi estudar as oscilações pretéritas do limite entre o Cerrado e a floresta (Labouriau & Sendulsky 1966, Labouriau 1983). O trabalho se concentrou inicialmente somente na família Poaceae devido à extrema importância florística e vegetacional das gramíneas no Cerrado que registra cerca de 140 espécies, muitas delas perenes.

Os profícuos resultados dessa primeira etapa abriram novas linhas de interesse, que levaram ao estudo sistemático e metódico de outras famílias para conhecer a produção de fitólitos em cada espécie. Ao longo desse estudo muitos problemas foram observados em relação aos aspectos fisiológicos, fitoquímicos e autoecológicos das plantas estudadas, mas também revelaram diferentes aplicações para os dados obtidos (Labouriau *et al.* 1973, Labouriau 1983).

Entre o final dos anos de 1980 e início dos anos 2000 constata-se uma lacuna. Os raros trabalhos publicados nesse período foram realizados por estrangeiros com materiais coletados na Amazonia (Kondo & Iwasa 1981; Piperno 1993) e no Cerrado brasileiro Alexandre *et al.* (1999).

### *Dias atuais... Coleções de referências*

Recentemente constata-se um crescente interesse pela análise de fitólito e novos avanços nos estudos fitolíticos vêm sendo observados em nosso país. As coleções de referências, que representam uma maneira de organizar os dados sobre a produção de fitólitos (quantidade e variedade) de uma dada planta (em nível de espécie, gênero ou família) ou de uma fitofisionomia estão sendo retomadas visando dar suporte aos estudos paleoetnobotânicos e paleoambientais no Brasil, pois estas permitem conhecer a produção de fitólitos intra e entre fitofisionomias a exemplo dos trabalhos de Medianic *et al.* (2008), Rasbold *et al.* (2011), Cecchet (2012), Felipe (2012), Raitz (2012) e Brustolin (2013).

Medianic *et al.* (2008) apresenta uma coleção formada por 7 espécies de Poaceae de dunas do Extremo Sul do Brasil. Os morfotipos identificados são semelhantes aos encontrados para essa família em outras regiões do globo (por exemplo, Twiss *et al.* 1969; Twiss 1987, 1992).

Uma proposta mais sistematizada, seguindo os critérios adotados em coleções de outros países, foi desenvolvida para a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas – Mata de Tabuleiro (Bioma da Mata Atlântica) na Reserva Natural da Vale – RNVALE, situada em Linhares, norte do Estado do Espírito Santo. Este estudo é parte das atividades do projeto Temático “Estudos paleoambientais interdisciplinares na costa do Espírito Santo” coordenado pelo Prof. Luiz Carlos R. Pessenda (CENA/USP) que objetiva a reconstrução ambiental (clima, vegetação e dinâmica marinha) desde o Pleistoceno tardio e a relação destas mudanças com a atividade humana na região de estudo. Essa coleção



avaliou a produção, descreveu e registou os morfotipos de fitólitos de folhas de 44 espécies incluindo plantas do estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, com destaque para as palmeiras (Cecchete 2012; Felipe 2012; Brustolini 2013). Para essa coleção foram selecionadas as espécies mais representativas em termos taxonômicos, diversidade e frequências dessa fitofisionomia na área do RNVALE. De acordo com resultados, praticamente todas as espécies estudadas sintetizam a sílica, porém, nem todas produzem fitólitos com tamanho ( $\rightarrow 5 \mu\text{m}$ ) e formas identificáveis.

No Sul do Brasil, visando contribuir em estudos realizados pelo Grupo de Pesquisa Gênese e Evolução de Superfícies Geomórficas e Formações Superficiais (cadastrado no CNPq) – GESGFS- foi elaborada uma coleção de referências por Raitz (2012) em seu trabalho de mestrado. Os fitólitos foram extraídos de folhas plantas calcinadas dos primeiros 40 cm de solo em dois fragmentos de vegetação natural do Sudoeste do Paraná, um representativo da Floresta Ombrófila Mista com Araucária (FOM) e outro dos Campos nativos. No fragmento de FOM foram amostradas 41 espécies pertencentes a 38 gêneros de 27 famílias e no fragmento de Campo forma amostrado 34 espécies, de 24 gênero agrupados em 6 famílias. Constatou-se excelente produção em termos de quantidade e diversidade de fitólitos nas folhas. A assembleia extraída do solo foi bastante parecida com aquela analisada por Calegari (2008) no primeiros 40 cm de um horizonte A húmico sob FOM em Guarapuava (PR). Com isso, já se tem os primeiros parâmetros sobre a assinatura fitolítica da FOM no estado do Paraná.

Quando comparadas as assembleias fitolítica do horizonte superficial coletado sob a FOM e sob Campo constatou-se diferenças significativas em termos de quantidade e variedade entre as duas áreas, permitindo distinguir as fitofisionomias (Raitz 2012), assim como propunha Labouriau em seus trabalhos pioneiros no Cerrado.

Também são notados esforços para elaboração de coleções de espécies isoladas como o trabalho de Rasbold *et al.* (2011) com *Arecaceae* (*Butia paraguayensis*). Os resultados corroboraram a literatura internacional em termos de produção abundante de morfotipos *globular echinate*, considerados uma forma com significado taxonômico para essa família.

## Aplicações em estudos paleoambientais no Brasil

Embora as análises de fitólitos estejam avançadas em vários países, somente na última década observamos avanços no Brasil. São poucos os estudos que consideram os dados aportados pelo conjunto fitolítico em estudos de reconstrução paleoambiental desenvolvidos no Brasil (Kondo & Iwasa 1981; Alexandre *et al.* 1999) e por brasileiros (Borba-Roschel *et al.* 2006; Lepsch & Paula 2006; Campos *et al.* 2010; Calegari *et al.* 2013; Coe *et al.* 2013, 2014; Macedo, 2013).

Alguns desses trabalhos focaram na reconstrução das condições paleoambientais em que se deu a pedogênese (Calegari 2008; Coe *et al.* 2013, 2014; Macedo 2013) empregando também os índices fitolíticos calculados a partir das assembleias preservadas nos solos estudados. Esses índices marcam a importância ecológica dos fitólitos em relação as características taxonomicas, morfológicas e fisiológicas das plantas. Isto porque os fitólitos proveniente de diferentes grupos de plantas estão ligados às configurações ecológicas (fisiológica) do grupo, por exemplo, as diferentes gramíneas (*Poaceae*), sub-famílias com a sua adaptação a climas mésicos, seco ou úmidos. Os índices mais empregados até o momento são: Índice de umidade-aridez (Iph) (Diester-Haas *et al.* 1973; Alexandre *et al.* 1997); Índice climático (Twiss 1987 1992) e o Índice de Cobertura arbórea (Alexandre *et al.* 1997, 1999; Barboni *et al.* 1999). Com eles tem sido possível sobre fatores extrínsecos envolvidos na pedogênese, como clima, vegetação (trocas de vegetação), erosão e transporte no local e sobre o ciclo do silício no solo e nas plantas.

Do ponto de vista arqueológico os trabalhos de Kondo e Iwasa (1981), Macedo (2013) e Bozarth *et al.* (2009) se destacam, pois buscaram compreender a participação do homem na gênese das Terra

Pretas de Índio (TPI) da amazônica brasileira. Foram analisadas as assembleias obtidas em TPI e Latossolos Amarelos (solos naturais) situados nas adjacências das manchas desses solos antrópicos. Nos trabalhos de Kondo & Iwasa (1981) e Macedo (2013) foram constatadas maiores quantidades de fitólitos de gramíneas e palmeiras nas TPI em comparação aos Latossolos. As diferenças nas assembleias foram atribuídas às mudanças das condições ambientais ao longo da formação de ambos os solos. Segundo Macedo (2013) as variações nas assembleias intra e entre perfis de solos indicam distúrbios em maior intensidade durante a formação da TPI do que nos solos naturais. Durante a evolução das TPI's a quantidade de Arecaceae incrementou gradualmente, alcançando inclusive a supremacia dentre a comunidade de plantas, atestando que as práticas antrópicas promoveram condições favoráveis para emergência dessa família no contexto doméstico como espécie manejada propositalmente. A presença de gramíneas na área foi interpretada como resultado de colonização após a abertura da vegetação, fato esse marcadamente observado no decorrer de formação das TPI. Algumas espécies da família Cyperaceae podem ter sido cultivadas para uso doméstico, pois são reconhecidas historicamente por sua utilização na época pré-contato.

Em trabalho de cunho mais arqueobotânico também na região amazônica, Bozarth *et al.* (2009) identificaram fitólitos de milho em uma área do sítio arqueológico Hatahara (Iranduba – AM) e constataram mudança de uso da terra e práticas agrícolas com cultivo desse cereal em período pré-colombianos.

Na tentativa de reconhecer possíveis câmbios de vegetação e de clima Alexandre *et al.* (1999) estudaram a assembleia de fitólitos em um Latossolo no limite entre floresta e cerrado no município de Salitre (Estado de Minas Gerais). A análise fitolítica foi empregada juntamente com a análise isotópica da matéria orgânica do solo (MOS) ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e datação  $^{14}\text{C}$ . Mudanças significativas na estrutura da vegetação foram identificadas e interpretadas como reflexo dos câmbios no Holoceno Superior, que levaram a formação da atual associação cerrado/floresta. Na mesma região Borba-Roschel *et al.* (2006) realizaram estudo em uma turfeira localizada em zona de cerrado em Uberaba (Minas Gerais). Eles compararam a assembleia de fitólitos da turfeira com os fitólitos extraídos das plantas dominantes na área atualmente e assim puderam reconstruir a sua história de formação.

Visando conhecer as diferenças entre as assembleias de fitólitos preservadas e solos de diferentes ecossistemas, Campos *et al.* (2010) analisaram o conjunto de fitólitos preservado nos horizontes superficiais de 10 perfis de solos bastante diferenciados em termos de distribuição geográfica, vegetação, material de origem e grau de evolução pedogenética. Os resultados obtidos apontaram uma diversidade natural na quantidade e diversidade de fitólitos e também não identificaram diferença na quantidade de fitólitos entre os Latossolos sob Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga.

Trabalho mais complexo com o objetivo de entender os processos pedogenéticos e de formação de horizonte húmico em Latossolos foi realizado, associando a análise de fitólitos a outros *proxies* biológicos, isotópicos e pedológicos por Calegari (2008). *Pari passu* foi realizado um estudo que visou resolver questões metodológicas para obtenção das assembleias preservadas nesses ricos em óxidos e hidróxidos de ferro (Calegari *et al.* 2013b). Os resultados desses estudos corroboraram com a literatura que diz que a assembleia de fitólitos, juntamente com os índices fitolíticos (D/P, Iph e IC), análises pedológicas clássicas, datações e análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) representam uma abordagem eficiente para reconhecimento de paleocondições edáficas. Juntos permitiram a identificação de diferenças vegetacionais e climáticas que interferiram na incorporação e estabilização da MOS durante a formação do horizonte A húmico em Latossolos do Brasil ao longo do Holoceno. A análise fitolítica permitiu o refinamento na interpretação dos resultados isotópicos e foi possível observar as mudanças de vegetação em várias das áreas estudadas. Nestes trabalhos os valores calculados para os índices fitolíticos foram diferentes daqueles estabelecidos como referência em zona tropical da África (Alexandre *et al.* 1997, 1999; Barboni *et al.* 1999), porém as tendências foram similares, o que valida o uso desses índices em nossos estudos. Entretanto, ressalta a necessidade de coleções de

referências específicas para nossos biomas, para assim podermos calibrar esses índices de acordo com nossa realidade.

Nesta mesma perspectiva *multiproxy* e pedogenética os solos desenvolvidos em uma pequena área de Floresta Xerófila em Cabo Frio, litoral fluminense, foram investigados visando avaliar o potencial da análise fitolítica para estudar mudanças na densidade da cobertura arbórea (Coe *et al.* 2013). Para isso Coe *et al.* (2013) usou também complementares como a micromorfologia de solos e a datação de fitólitos pelo método de Carbono 14-AMS. Os resultados comprovaram a existência de horizontes enterrados, e a assembleia permitiu reconstituir paleoambientes, mudanças de vegetação, adaptadas aos períodos mais secos e mais úmidos ao longo do Holoceno. Também na região de Cabo Frio, litoral fluminense, Coe *et al.* (2014) estudaram um perfil de solo na bacia do Rio São João, cujos resultados permitiram inferir sobre a trajetória do clima no Holoceno dessa área, que foi completamente ocupada por uma vegetação florestada (Floresta Atlântica) antes da entrada dos colonizadores europeus.

Nessa mesma abordagem também se destacam os trabalhos do grupo de pesquisa GESGFS vem investigando o papel das mudanças climáticas globais do Quaternário tardio na dinâmica evolutiva das bacias de baixa ordem hierárquica da Superfície 2 do Planalto das Araucárias e os primeiros resultados foram apresentados por Paisani *et al.* (2013). Nesta investigação, coleções de referências foram elaboradas com plantas atuais da FOM e de campo (Raitz, 2012) para subsidiar as interpretações das assembleias preservadas em sedimentos e paleossolos da região de Palmas (PR). De acordo com Paisani *et al.* (2013) a associação entre o registro estratigráfico e as análises de isótopos do carbono e fitólitos permitiram identificar a continuidade da presença de Campo Cerrado entre 41.000 (45.582 a 44.133 anos cal. AP) e 29.000 anos AP (34.249 a 33.243 anos cal. AP) na região de Palmas.

## Desafios e perspectivas futuras

Após essa breve revisão sobre os estudos de fitólitos no Brasil, sem a pretensão de ser uma revisão completa, podemos apontar a existência de lacunas que merecem atenção. Essas lacunas representam os desafios e alguns dos caminhos que ainda temos que percorrer.

Parece ser premente a realização de:

- i. Estudos mais aprofundados sobre os mecanismos de silicificação nas plantas, aplicações em estudos arqueológicos e ambientais;
- ii. Ampliar as coleções de referências para suporte aos estudos paleoambientais e arqueobotânicos:
  - ▶ Material vegetal
    - *In situ* (em tecidos de plantas)
    - Espodogramas (cinzas)
  - ▶ Fitólitos preservados nos solos/sedimentos
    - Sob diferentes tipos de vegetação e uso
    - Diferentes tipos de solo
  - ▶ "Atividades" (subsídio para estudos arqueológicos e etnobotânicos)
    - Processamento da colheita
    - Estocagem
- iii. Ajustes metodológicos para extração de fitólitos, sobretudo em solos minerais ricos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

- iv. Calibração dos índices fitolíticos de acordo com a produção dos biomas brasileiros e os processos tafonômicos em condições tropicais para obter uma compreensão taxonômica mais precisa das assembleias que permitirão identificar a variabilidade de vegetação em relação à topografia, umidade e temperatura.
- v. Ações que promovam a inserção no contexto internacional.
- vi. Padronização da nomenclatura de acordo com o Código Internacional de Nomenclatura – ICPN 1.0 (Madella *et al.* 2005) e participação nas discussões junto ao comitê para as novas edições.

## Referências

- Alexandre A. ; Meunier, J.-D. ; Lczine, A.-M. ; Vincens A. ; Schwartz, D. A. 1997. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **136**: 213-229.
- Alexandre A. ; Meunier, J.-D. ; Mariotti, A. ; Soubies, F. 1999. Late Holocene phytolith and carbon-isotope record from a latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, **51**: 187-194.
- Barboni, D. ; Bonnefille, R. ; Alexandre, A. ; Meunier, J. D. 1999. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **152**: 87-100.
- Barboni, D.; Bremond, L. 2009. Phytoliths of East African grasses: an assessment of their environmental and taxonomic significance based on floristic data. Review of **Palaeobotany and Palynology** **158**, 29–41.
- Borba-Roschel, M. ; Alexandre, A. ; Varajão, A.F.D.C. ; Meunier, J.D. ; Varajão, C.A.C. ; Colin, F. 2006. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in the Brazilian cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, **88**: 172-176.
- Bozarth, S.R.; Price, K.; Woods, W.I.; Neves, E.G.; Rebellato, R. 2009. Phytoliths and Terra Preta: The Hatahara Site Example. In: Woods, W.I.; Teixeira, W.G.; Lehmann, J.; Steiner, C.; Winklerprins, A.M.G.A; Rebellato, L. (Ed.). **Amazonian Dark Earth: WimSombroek's Vision**. Springer. 85-98.
- Bremond, L. ; Alexandre, A. ; Hély, C. ; Guiot, J. 2005. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest–savanna transect in southern Cameroon. **Global and Planetary Change**, **45(4)**: 277-293.
- Calegari, M. R. 2008. Ocorrência e Significado Paleoambiental do Horizonte A Húmico em Latossolos. **Tese de Doutorado**, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP. 256p.
- Calegari, M.R.; Madella, M.; Vidal-Torrado, P.; Pessenda, L.C.R.; Marques, F.A. 2013a. Combining phytolith and  $\delta^{13}\text{C}$  matter in Holocene paleoenvironmental studies of tropical soils: an example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary International**, **287**: 47-55.
- Calegari, M. R.; Madella, M.; Vidal-Torrado, P.; Otero, X. L.; Macias, F.; Osterrieth, M. Opal phytolith extraction in Oxisols. **Quaternary International** **287**.p. 56-62. 2013b.
- Campos, A. C; Laboriau, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados – II. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. **4**: 143-151, 1969.
- Cavalcante, P. B. Contribuições ao estudo dos corpos silicosos das gramíneas amazônica. I. Panicoideae (Melinideae, Andropogoneae e Tripsaceae). **Bol. Mus. Paraense Emilio Goeldi, Botanica** **30**, 11pg. 26 est. 1968.
- Cecchet, F.A. 2012. Conjunto de Fitólitos dos Estratos Inferiores da Floresta Ombrófila Densa: Subsídios Para Reconstrução Paleoambiental. Monografia de Conclusão de Curso – Centro de Ciências Humanas, Educação e Letras – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon. 87p.
- Coe, H.H.G. ; Alexandre, A. ;Carvalho, C.N. ; Santos, G.M. ; Silva, A.S. ; Sousa, L.O.F. ; Lepsch, I.F. 2013. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): Evidence from soil phytolith assemblages. **Quaternary International**, **287**: 63-72.

- Coe, H.H.G.; Macaro, K.; Gomes, J. G.; Chueng, K. F. ; Oliveria, F. ; Gomes, P. R. R. ; Carvalho, C. ; Linares, R. ; Alves E. ; Santos G. M. Understanding Holocene variations in the vegetation of São João river basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.01.009>.
- Cordova, C.E. ; Johnson, W.C.; Mandel, R.D.; Palmer, M.W. 2011. Late Quaternary environmental change inferred from phytoliths and other soil related proxies: case studies from the central and southern Great Plains, USA. **CATENA** **85**, 87-108p.
- Costa, L. M.; Santos, R. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Moreau, A. M. S. S.; Moreau, M. S. 2010. Ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **34**(3), 871-879.
- Diester-Haas L.; Schrader, H.J.; Thiede, J. 1973. Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa. **Meteor Forsch-Ergebnisse**, **16**: 19-66.
- Epstein, E. 2001. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH (Eds.) Silicon in Agriculture. Amsterdam, Elsevier Science. p.1-15.
- Felipe, P. L. L. 2012. Coleção De Referência De Fitólitos De Eudicotiledoneae da Floresta Ombrófila Densa: Subsídios Para Estudos Paleoambientais Em Regiões Tropicais. Monografia de Conclusão de Curso – Centro de Ciências Humanas, Educação e Letras – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon. 72 p.
- Figueiredo, R.C.L.; Handro, W. 1971. Corpos silicosos de gramíneas do Cerrado- V. pgs. 215-230 in Ferri, M. G, (Edit). **III Simpósio sobre Cerrado**, **239p**. São Paulo : Editora da Universidade de São Paulo.
- Fontana, Jr.; P.; Muth, H. 1957. Estruturas silicosas na gramíneas *Panicum maximum* . **Memorias do Instituto Oswaldo Cruz**, **5**: 133-144p.
- Fredlund, G.G.; Tieszen, L.L. 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. **J. Biogeogr.**, **21**: 321-335p.
- Kondo, R., Iwasa, Y. 1981. Biogenic opals of humic yellow latosols and yellow latosols in the Amazon region. **Research Bulletin Obihiro University**, **12**: 231-239.
- Laboriau, L. G. 1983. Phytolith work in Brasil: a minireview. **The Phytolitharien Newsletter**, **2**(2): 6-10.1.
- Laboriau, L. G.; Mosquim, P.; Morhy, L. 1973. Deposição de sílica nas folhas de *Casearia grandiflora* St. Hil. **Ann. da Acad. Brasileira de Ciências**, **45** (3/4): 543-563.
- Laboriau, L.G.; Sendulsky, T. 1966. Corpos silicosos de gramínias dos cerrados. **Academia Brasileira de Ciência do Solo**, **38**: 159-170p.
- Lepsch, I.; Paula, L. M. A. 2006. Fitólitos em solos sob cerradões do Triângulo Mineiro: relações com atributos e silício absorvido. **Caminhos de geografia - revista on line**. <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html> . ISSN 1678-6343
- Ma, J. F.; Miyake, Y.; Takahashi, E. 2001. Silicon as a benefic element for crop plants. In: Datnoff LE, Snyder GH & Korndorfer GH (Eds.) **Silicon in agriculture**. Amsterdam, Elsevier. p.17-39
- Macedo, R. S. 2013. Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de índio no município de Iranduba- AM. **Tese de Doutorado**, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP. 177p.
- Madella, M.; Alexandre, A.; BALL, T.; 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, **96**(2): 253-260.
- Medeanic, S.; Cordazzo, C. V.; Corrêa, I. C. S.; Mirlean, N. 2008. Os Fitólitos em Gramíneas de Dunas do Extremo Sul do Brasil: Variabilidade Morfológica e Importância nas Reconstruções Paleoambientais Costeiras. **Gravel**, **6**(2), p. 1 – 14.
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E., 1991. **Pollen Analysis**, second ed. Oxford- Blackwell Scientific Publications. 216p.
- Osterrieth M., Madella M., Zurro D., Alvarez M.F. 2009. Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International**, **193**: 70-79.

- Paisani, J. C.; Calegari, M. R.; Pontelli, M. E.; Pessenda, L. C. R.; Côrrea, A. C. B.; Paisani, S. D. L.; Raitz, E. 2013. O papel das mudanças climáticas do Quaternário Superior na dinâmica evolutiva de paleovale de segunda ordem (Sul do Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, **14**(1) 103-116P. (2013)
- Piperno, D. 1993. Phytolith and charcoal records from deep lake cores in the American tropics. In: Pearsall, D.M.; Piperno, D.R. (eds.) Current Research in **Phytolith Analysis: Applications in Archaeology and Paleoecology**. Philadelphia, MASCA, University Museum of Archaeology and Anthropology, 58-71p.
- Piperno, D.R. 2006. **Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists**. Lanham. AltaMira Press, 238p.
- Powers, A. H. 1992. Great expectations: a short historical review of European phytolith systematics. In: George Rapp, Jr. and Susan C. Mulholland. **Phytolith Systematics: emerging issues. Advances in Archaeological and museum science**, 15-35p.
- RAITZ, E. 2012. **Coleção de Referência de Silicofitólitos da Flora do Sudoeste do Paraná: Subsídios para Estudos Paleoambientais**. Francisco Beltrão, 204 p. Dissertação de Mestrado em Geografia Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.
- Rasbold, G. G.; Monteiro, M. R.; Parolin, M.; Caxambú, M. G.; Pessenda, L. C. 2011. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey ( *Arecaceae*). **Iheringia**, Sér. Bot. 66 (2): 265-270.
- Rovner, I., 1971. Potential of opal phytolith for use in paleoecological reconstruction. **Quaternary Research**, **1**: 343-359.
- Runge, F. 1999. The opal phytolith inventory of soil in central Africa – quantities, shapes, classification, and spectra. **Review of Palaeobotany and Palynology**, **107**: 23–53.
- Silva, S.T.; Labouriau, L.G. 1970 Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados III. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **5**: 167-182.
- Sondahl, M. R.; Laboriau, L. G. 1970 Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados- IV. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **5**: 183-207.
- Thorn, V. C. 2008. New Zealand sub-Antarctic phytoliths and their potential for past vegetation reconstruction. **Antarctic Science**, **20**: 12–32.
- Twiss, P.C., 1987. Grass opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene. In: Johnson, W.C. (Ed.) **Quaternary Environments of Kansas**. Kansas Geological Survey Guidebook, 5: 179-188.
- Twiss, C., Suess E., Smith, R. M. 1969. Morphological classification of grass phytoliths. **Soil Science Society of America Proceedings**, **33**: 109-115.
- Twiss, P. C. 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: Rapp, G.; Mulholland, S.C. (Eds.) **Phytolith Systematics**. New York, Plenum Press, 113-128p.
- Wilding, L.P., Smeck, N.E.; Drees, L.R. 1977. Silica in soils: quartz, cristobalite, tridymite and opal. In: Dixon, J.B.; Weed, S.B. **Mineral in soil environments**. Madison. Soil Science Society of America. 471-542p.

# LA DENDROCRONOLOGÍA EN MÉXICO: SITUACIÓN ACTUAL, RETOS Y PERSPECTIVAS

**José Villanueva Díaz<sup>1</sup>, Julián Cerano Paredes<sup>1</sup> & David W. Sathle<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>INIFAP CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango, México.

[villanueva.jose@inifap.gob.mx](mailto:villanueva.jose@inifap.gob.mx)

<sup>2</sup>Universidad de Arkansas, Departamento de Geofísica, Fayetteville, Ark, USA.

## Introducción

El cambio de uso del suelo y calentamiento global constituyen factores que alteran el funcionamiento de los ecosistemas y su biodiversidad. La elevada tasa de deforestación en México que en la última década se estima en aproximadamente 260,000 ha anuales (SEMARNAT, 2012), lleva también consigo la desaparición de organismos longevos, los cuales por cientos de años han interactuado con otras especies con las que han logrado una estabilidad ecológica a través del tiempo, lo cual permite el funcionamiento del ecosistema mismo y favorece su dinámica sucesional. Sitios con alta biodiversidad, como los que caracterizan a las Sierras Madre Occidental y Oriental en el oeste y este de México, respectivamente, han sufrido un deterioro considerable en los últimos 70 años, ya que prácticamente todos los ecosistemas de bosques templados han sido alterados y existe información documentada, donde en la década de 1990 para la Sierra Madre Occidental, se reportaba menos del uno por ciento en existencia de los bosques originales de pino-encino, situación que favoreció la desaparición de especies endémicas de fauna (Lammertink *et al.*, 1998). Algunos relictos de estos bosques antiguos, todavía se encuentran presentes en sitios recónditos, donde la inaccesibilidad del terreno ha permitido su permanencia. Estos sitios son de alto interés científico, ya que sus crecimientos radiales tienen implícito un cúmulo de información climática y ecológica, que puede ser utilizada para reconstruir el clima del pasado y analizar la influencia de factores ecológicos en su desarrollo.

La alta biodiversidad que caracteriza a México y que lo ubica entre los cinco países con mayor diversidad ecológica en el mundo, demanda de sus instituciones un gran esfuerzo para fomentar su conservación y promover la restauración de sitios degradados. De esta manera, los estudios dendrocronológicos pueden aportar un sinnúmero de conocimientos para el entendimiento de la dinámica de sus poblaciones, derivar información climática de alta y baja frecuencia y de su impacto en la producción de biomasa y determinar la frecuencia histórica de incendios, influencia de plagas y enfermedades, entre otra mucha información de utilidad práctica para el manejo sustentable de los ecosistemas. El objetivo de este trabajo es analizar el estado actual de la dendrocronología en México en término del número de series dendrocronológicas desarrolladas, especies utilizadas, distribución de los sitios de estudio; variables climáticas reconstruidas, frecuencias de incendios dominantes en diversos ecosistemas, avances en el entendimiento del impacto histórico de patrones atmosféricos circulatorios y potencial de utilización de nuevas especies con fines dendrocronológicos en ecosistemas templados, semitropicales y tropicales.

## Metodología

El desarrollo de estudios dendrocronológicos se inició en México desde principios de la década de 1950 por investigadores de la Universidad de Arizona y posteriormente a finales de la década de 1990 por personal de la Universidad de Arkansas. La expansión de este tipo de estudios, sin embargo, ocurrió en México a principios del 2000, cuando a través de un proyecto con financiamiento del Instituto Interamericano para el Cambio Climático Global (IAI), se instaló un laboratorio básico de dendrocronología en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), donde para generar las series de tiempo de anillos de árboles, se utilizó el método convencional de dendrocronología desarrollado en la Universidad de Arizona (Stokes y Smiley, 1968). Las series dendrocronológicas generadas, que normalmente involucran bandas de madera temprana, tardía y de anillo total, se han analizado de manera individual o integrada en series representativas a nivel cuenca o región hidrológica (Fritts, 1976); estas últimas, captan con mayor fidelidad las condiciones climáticas dominantes en una región y responden mejor a la influencia de patrones atmosféricos de circulación general, que impactan grandes superficies en México y aun se extienden a nivel transfronterizo, caso concreto El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), Monzón Mexicano, Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO, por sus siglas en inglés), entre otros índices como el índice de Sequía de Severidad de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés) e índice de precipitación normalizada (PSI, siglas en inglés). Las reconstrucciones de variables climáticas e hidrométricas, se fundamentan en la comparación con análisis de regresión simple, múltiple y componentes principales de datos climáticos procedentes de Sistema Meteorológico Nacional y de la Comisión Nacional del Agua; de esta forma, se han desarrollado reconstrucciones anuales y estacionales de precipitación, temperaturas, caudales en ríos y afluentes importantes, y fluctuación en los niveles de lagos, información que se ha verificado con registros climáticos, archivos históricos documentados y con reconstrucciones dendrocronológicas y de otras fuentes "proxy".

La frecuencia de eventos hidroclimáticos extremos y el impacto y tendencias de patrones circulatorios, se ha determinado mediante Análisis Espectrales de Ondeleta. La estimación de edades en sistemas riparios o bosques de galería en el norte de México fundamentado en incrementos radiales ha constituido la base para analizar la dinámica de especies arbóreas dominantes en estos ecosistemas y permitido cuantificar el impacto de estructuras hidrológicas en la dinámica y estabilidad de estos ecosistemas. La información se ha utilizado para establecer planes de manejo sustentable, conservación y proponer planes de recuperación de sitios degradados mediante plantaciones, obras de conservación de suelos y liberación de gastos ecológicos. Las primeras especies a considerar en estos estudios dendroclimáticos fueron diversas coníferas de los géneros *Pseudotsuga* y *Pinus*, presentes en bosques templados del norte y centro de México. Actualmente se ha expandido el número de especies utilizadas, particularmente de coníferas y se trabaja ampliamente con ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.), especie riparia, de amplia distribución en el territorio mexicano y una de las más longevas, que a la vez es de gran importancia ecológica y que ha estado ligada a la historia de México desde tiempos Prehispánicos.

Otras especies como *Pinus hartwegii* (Lindl.) y *Juniperus monticola* (Martínez), que habitan el límite superior arbóreo de picos elevados en el Eje Neovolcánico del Centro y sur de México, resultan de gran importancia científica para estudiar el reclutamiento de individuos arriba del límite arbóreo, atribuido a la influencia del cambio climático global. El conocimiento de la frecuencia histórica de incendios y el impacto del clima son elementos básicos para entender la dinámica y sanidad de especies forestales que evolucionaron con este fenómeno. La determinación de frecuencia histórica de incendios es parte importante de la investigación que realizamos y para su determinación se utilizan secciones transversales con cicatrices de incendios obtenidas con motosierra, posteriormente son



datadas y analizadas mediante programas especiales que determinan su frecuencia histórica con base a diversos filtros y probabilidades de ocurrencia. La frecuencia de incendios se relaciona con variables climáticas, influencia humana y con patrones de circulación general.

## Resultados

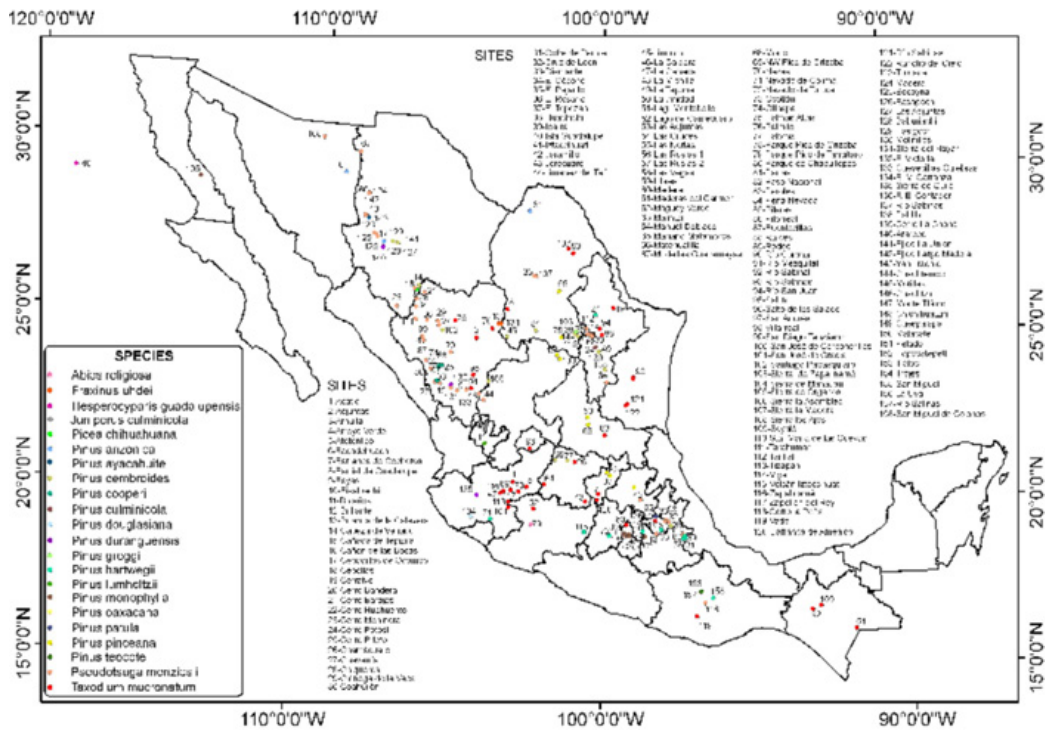
La colaboración de investigación con diversas instituciones nacionales e internacionales y con base en el apoyo económico, otorgado a través de instituciones de investigación mexicanas e internacionales ha permitido que en la última década, se hayan desarrollado más de 150 nuevas cronologías de anillos de árboles distribuidas principalmente en el norte y centro de México, algunas de las cuales sobrepasan el milenio de extensión (Figura 1).

Esta red dendrocronológica está integrada casi en un 42% por cronologías de Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, especie con amplia distribución en los principales macizos montañosos del norte y centro de México (Figura 2); un 13% corresponde a cronologías de ahuehuete y 45% a cronologías de otras coníferas, particularmente del género *Pinus*. Estas cronologías se han utilizado para reconstrucciones de precipitación estacional invierno primavera, precipitación anual, reconstrucción de caudales e impacto histórico de fenómenos atmosféricos circulatorios como ENSO, fenómeno que en el norte de México produce condiciones de precipitación superiores a la media en la época invernal, durante su fase cálida (El Niño) y condiciones de sequía intensa en su fase fría (La Niña); situación que se corrobora por la correlación significativa ( $r \rightarrow 0.59$ ,  $p \leftarrow 0.01$ ) entre los índices de oscilación del sur (SOI, por sus siglas en inglés) y los índices de madera temprana.

El comportamiento de ENSO muestra un dipolo arriba del Trópico de Cancer, como lo sugieren estudios dendroclimáticos, con efectos diferentes en términos climáticos, es decir condiciones favorables de precipitación en el centro de México y secas en el norte durante la fase fría y condiciones inversas durante su fase cálida. Este comportamiento se ha verificado en una serie de reconstrucciones dendroclimáticas para el norte, noreste y centro de México (Figura 3).

En términos de estudios de frecuencia de incendios, las especies más utilizadas han sido *Pinus arizonica*, *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus douglasiana*, *Pinus durangensis*, en otras, especies que muestran cicatrices bien definidas y evolucionaron con este fenómeno, por lo que su estabilidad ecológica está muy ligada con la mayor o menor incidencia de incendios que para los bosque templados fluctúa entre 5 y 10 años. El ahuehuete, especie riparia de amplia distribución en México, que a pesar de habitar sitios con agua permanente o semipermanente es sensible a variaciones en la disponibilidad del agua, derivado de fluctuaciones en la precipitación y en los caudales que circulan por algunos de los principales ríos y afluentes donde habitan (Figura 4). Cronologías de anillo total que superan el milenio han sido generadas y utilizadas para reconstrucciones de caudales, precipitación estacional y análisis de fenómenos de circulación general, Estudios de su distribución y dinámica se han implementado en algunos sistemas rivereños como es el caso de algunos ríos importantes en el norte, centro y sur de México, donde la especie constituye bosques de galería que se extienden en algunos casos por cientos de kilómetros.

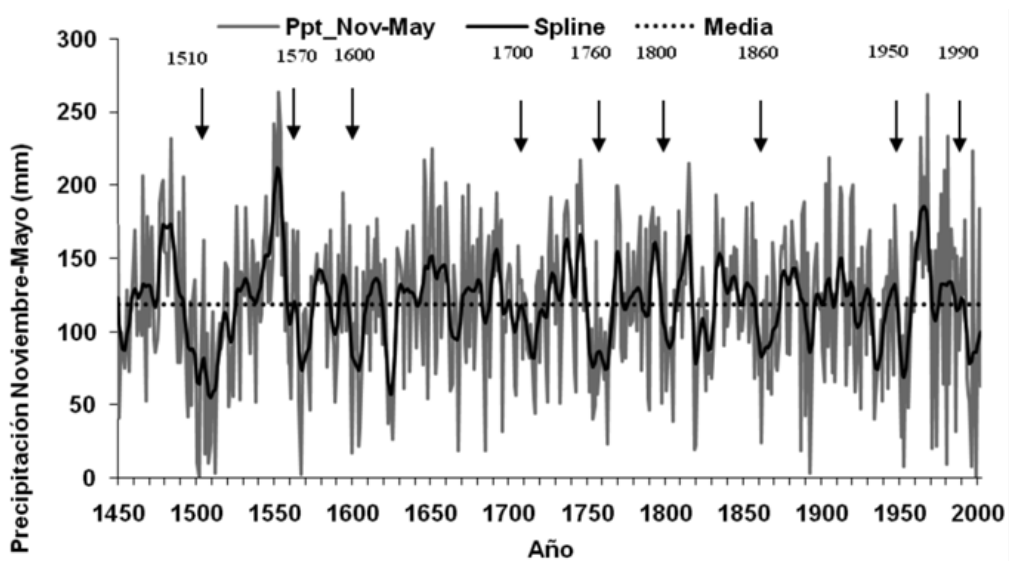
La dinámica de la especie ha sido afectada significativamente y el reclutamiento de nuevos individuos es inexistente en diversos parajes de estos sistemas, debido a problemas originados por la derivación de agua del cauce principal, problemas de contaminación, remoción de arena y grava en el lecho del río, sobrepastoreo, remoción de individuos para diversos fines y daño por incendios; este último de gran impacto en la sobrevivencia de individuos (Figura 5). Los estudios desarrollados han permitido definir algunas estrategias de conservación y de restauración de sitios con alto impacto antropogénico, información que ha sido de gran importancia para el establecimiento de planes de manejo de estos ecosistemas riparios. Estudios específicos se han realizado para especímenes de



**Figura 1.** Distribución geográfica de cronologías de anillos de árboles desarrolladas en el laboratorio de Dendrocronología del INIFAP, Gómez Palacio, Durango, México.



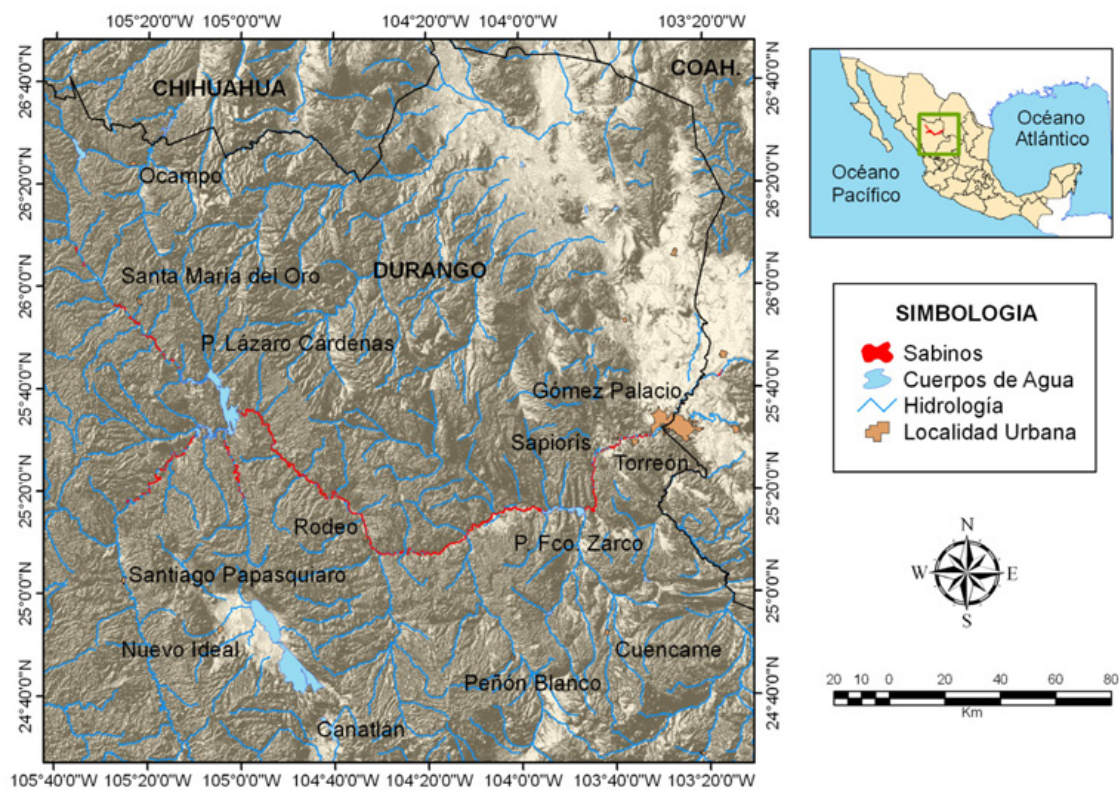
**Figura 2.** Ejemplares arbóreos de Douglas-fir en un sitio de la Sierra Madre Occidental



**Figura 3.** Reconstrucción de precipitación estacional noviembre-mayo para la región limítrofe de los estados de Chihuahua, Durango y Sinaloa. Observe las sequías (valores por abajo de la línea horizontal punteada) que se presentan en frecuencias aproximadas de 50 años. Variabilidad climática con alta influencia del Niño Oscilación del Sur



**Figura 4.** Paraje con sabinos en la rívera del Río Nazas, Durango. Algunos de estos especímenes tienen una edad cercana a 1000 años, no obstante, debido a pudriciones en la parte del fuste principal, la edad de estos individuos es difícil de determinar con precisión.




**Figura 5.** Distribución del ahuehuate en el ecosistema rivereño del río Nazas, Durango, México. La especie constituye bosques de galería con arbolado en diferentes edades en más de 280 km (líneas rojas) Acciones de conservación se han establecido en parajes degradados a lo largo de este sistema hidrológico.

ahuehuate y fresno (*Fraxinus udhei*) plantados en parques urbanos o rurales, donde se ha definido la edad de los individuos y determinado el adecuado o deficiente manejo en función a sus tasas de crecimiento anual, con el fin de establecer medidas para mejorar su vigor y crecimiento en general.

## Conclusiones

Aunque el avance dendrocronológico en México logrado en los últimos 15 años ha sido significativo, aún falta mucho por hacer, en términos de generar una red dendrocronológica robusta, en particular, de las especies que se conoce producen anillos de crecimiento anual bien definidos; así por ejemplo, en coníferas del género *Pinus*, en México se tienen reportadas más de 50 especies diferentes y las especies que se han utilizado con fines de dendrocronológicas no superan la decena; el problema es superior en encinos (*Quercus* spp.), donde la diversidad de especies es aún mayor y donde algunas de ellas, particularmente deciduas producen crecimientos anuales bien definidos. Las zonas tropicales y semitropicales son las más olvidadas en este aspecto y los esfuerzos para desarrollar series dendrocronológicas han sido mínimos, a pesar de que diversas especies de interés comercial muestran crecimientos anuales marcados, como ha sido determinado en trabajos desarrollados en la Península de Yucatán, donde se determinó que de 48 especies correspondientes a 20 familias botánicas, 38% de ellas mostraron crecimientos anuales distinguibles. Los estudios dendrocronológicos han mostrado una expansión y en universidades como la UNAM en sus departamentos de Geografía, Geoquímica, Botánica y Silvicultura se han generado tesis de licenciatura y postgrado que fomentan esta disciplina; otras universidades en México relacionadas con el manejo sustentable de los recursos naturales han mostrado su interés en este tipo de estudios y se han esta-



blecido en algunos de ellos sistemas de medición y microscopios para el datado de los crecimientos. Los cursos anuales intensivos que se ofrecen en nuestro Laboratorio de Dendrocronología también han fomentado el interés por esta ciencia. A pesar de lo anterior, se requiere desarrollar una mayor difusión e involucrar a un mayor número de instituciones y de investigadores en el desarrollo de este tipo de estudios y generar conocimiento para la conservación de ecosistemas, de especies particulares, estudios de variación hidroclimática de alta y baja frecuencia, tendencias e impacto de patrones atmosféricos de circulación general.

## Agradecimientos

La presente investigación fue apoyada con fondos del proyecto del Instituto Interamericano para la investigación del cambio climático (IAI) a través del CRN # 2047, a su vez financiado por el US/ National Science Foundation (Grant GEO-0452325).

## Referencias

- Fritts, H.C. 1976. **Tree rings and climate**. London: London Academic Press.
- Lammertink, J.M., J.A. Rojas-Tome, F.M. Casillas-Orona y R.L. Otto. 1998. **Situación y conservación de los bosques antiguos de pino-encino de la Sierra Madre Occidental y sus aves endémicas**. México, D.F.:Consejo Internacional para la Preservación de las Aves, Sección Mexicana.
- SEMARNAT. 2012. **Inventarios forestales y tasas de deforestación**. México, D.F.
- Stokes, M.A. y T.L. Smiley. 1968. **An Introduction to Tree-Ring Dating**. Chicago: University of Chicago Press.

# THE IMPACT OF THE HYDROELECTRIC POWER PLANT BALBINA ON TREE GROWTH OF *MACROLOBIUM ACACIIFOLIUM* (BENTH.) BENTH. (FABACEAE) IN THE FLOODPLAINS OF THE UATUMA RIVER (CENTRAL AMAZONIA) REVEALED BY DENDROCHRONOLOGICAL METHODS

**Jochen Schongart<sup>1,2</sup>; Cyro Assahira; Susan E. Trumbore<sup>3</sup>;  
Bruno. B. L. Cintra<sup>1</sup>; Eliane. S. Batista<sup>1</sup> & Maria Teresa F. Piedade<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Grupo MAUA, Manaus, Brazil.

[jochen.schongart@inpa.gov.br](mailto:jochen.schongart@inpa.gov.br)

<sup>2</sup>Max Planck Institute for Chemistry, Biogeochemistry Department, Mainz, Germany.

<sup>3</sup>Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany.

The monomodal flood pulse is the principal driving force in the Amazonian river floodplain systems. The long-term and predictable annual flooding leads to cambial dormancy and the formation of annual tree rings in the wood. The implementation of hydroelectric dams in large Amazonian rivers leads to abrupt changes of the flood pulse. During the 1980s the hydroelectric power plant Balbina was established in the Uatumã River in central Amazonia. Downstream of the Balbina dam we observed huge populations of dead trees from species at the lower topographies in the floodplains, among them *Macrolobium acaciifolium* (Benth.) Benth. (Fabaceae). This tree species has a huge potential for dendrochronological studies due to its wide geographical distribution, regular annual tree rings and high ages of up to 500 years. In this study we use dendrochronology to crossdate the year of death from *Macrolobium* trees. We validate the crossdating by a second independent method (radiocarbon dating) and relate the mortality to changes in the hydrological regime associated with the implementation of the hydroelectric dam. To build up a reference curve we sampled two cores from 70 living trees of *M. acaciifolium* of the Uatumã River floodplains. From 17 dead trees of *M. acaciifolium* with a mean diameter of  $71.6 \pm 29.8$  cm which still had the presence of the bark we sampled entire cross sections. The ring width of the carefully prepared wood samples was measured. The individual tree-ring series of 37 living individuals were successfully crossdated to produce a tree-ring chronology (reference curve). The measured ring-width curves of the dead trees were crossdated with the reference curve to determine the year of the formation of the last tree ring. To validate the crossdating we isolated the outermost tree ring of the dead trees to perform radiocarbon dating. The dendrochronological and radiocarbon dating matched in 87.5%, and in 12.5% of the cases the deviation in dating



was less than one year. Trees died mainly in the period 2001-2010 when inundation occurred during consecutive years. Changes of the flood-pulse pattern and impacts of tree growth and forest dynamics may be similar among other hydroelectric projects in Amazonian floodplains. The application of dendrochronology used in this study is unique for tropical forests and is a useful tool to study the impact of natural and anthropogenic disturbances affecting its structure, dynamic and functioning.

# WORLDWIDE TRADE IN TIMBER PRODUCTS AND THE IDENTIFICATION CHALLENGE IT POSES

**Peter Gasson**

Royal Botanic Gardens, Kew, Surrey, United Kingdom.

[P.Gasson@kew.org](mailto:P.Gasson@kew.org)

International trade in timber and timber products is leading to increasingly demanding identification enquiries. Straightforward questions such as what is this wood and where is it from are becoming increasingly difficult to answer. European Union Timber Regulations (EUTR), the US Lacey Act and the Australian Illegal Logging Prohibition Act now require importers to these countries to use “due diligence” to ensure that their timber products have been legally sourced. This is challenging for both importers and law enforcement, because trade encompasses the entire world. Trees are often grown in one country, exported to another where they are manufactured into products such as plywood, furniture or paper, and then re-exported to a third country. Since the EUTR was introduced in March 2013, we have received many more identification enquiries than previously regarding imported plywood and furniture. These are additional to frequent enquiries regarding CITES-listed timbers. Plywood is particularly difficult to deal with because the outer veneer layer is usually the one of interest, and is often only 200 µm thick. In most cases this layer presents a perfect tangential longitudinal section, and if authentication is required we can usually do this by comparison with microscope slides. These thin facing veneers are usually pale red or pink, and have been *Palaquium* (Sapotaceae, from the Solomon Islands), *Canarium* (Burseraceae), stained *Populus* (poplar, Salicaceae), *Eucalyptus* (Myrtaceae) or *Terminalia*. The inner layers have been mainly *Eucalyptus* or *Populus*. Solid wood products have included woods stated to be American Oak (*Quercus*), Brazilian Pine (plantation grown *Pinus taeda* or *P. elliottii*), *Samanea saman* and *Juglans mandschurica*. Although we can usually identify veneers or plywood layers to family or genus, we often cannot say much about geographical origin. Oak, *Quercus*, ranges across the entire northern hemisphere, and *Eucalyptus*, *Populus* and *Pinus*, which are very widely planted need stable isotope techniques to ascertain origin. In the future, molecular sequencing may help to identify taxa once adequate reference datasets have been produced, but this is going to be particularly difficult with plywoods and composites, where the wood is heated and stuck together with glues! I anticipate many more taxa being encountered in the future, and keeping up with trade patterns and the timbers harvested will be a major challenge for all concerned.



# ESTUDOS DENDROCRONOLÓGICOS ATUAIS NOS BIOMAS CAATINGA E CERRADO

**Claudio Sergio Lisi<sup>1</sup> & Ana Carolina Maioli Campos Barbosa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe, Laboratório de Dendroecologia, Aracaju, Sergipe, Brasil.

[cslisi@ufs.br](mailto:cslisi@ufs.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Lavras, Laboratório de Dendrocronologia, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Os biomas caatinga e cerrado cobrem enorme área do território brasileiro, nele existe grande diversidade da flora com espécies endêmicas e outras de ampla distribuição espacial. O clima é estacional marcado por um período seco anual superior a cinco meses, fator importante para a diminuição da atividade cambial que resulta na formação de anéis de crescimento. Estes ambientes vêm sendo recentemente estudados a fim de determinar espécies florestais importantes para a dendrocronologia e suas aplicações em estudos ambientais. Destacam-se estudos com as espécies *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell., *Paquira stenopetala* Casar, *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz, *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Aspidosperma pyriforme* Mart., *Zeyheria tuberculosa* (Vell.) Bureau, *Hymenaea martiana* Hayne e *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Ex Hayne. Estão sendo empregados métodos convencionais e modernos de estudo, incluindo observações anatômicas e do câmbio para definição dos tipos de anéis de crescimento e de sua época anual de formação, bem como as características dos falsos anéis de crescimento. Dendrômetros, marcações do câmbio e fenologia. Mensurações das larguras radiais dos anéis de crescimento com mesas de precisão ou softwares de análises de imagens, gerando séries de medidas que são sincronizadas e resultam em cronologias. Programas específicos como o cofecha, arstan, respo e tsap, etc. As técnicas de raios X e de isótopos estáveis, principalmente carbono, também são usadas. Estes trabalhos não estão restritos a indicações de espécies potenciais para estas áreas, eles têm proporcionado sincronizações muito significativas de séries temporais, resultando em cronologias bem correlacionadas com o clima, principalmente precipitação e déficit hídrico. Um limite observado são as idades pouco superiores a um século, indicando a necessidade de buscar espécies mais longevas. Desta forma diversas aplicações estão sendo possíveis, desde determinações precisas anuais sobre as taxas de crescimento das espécies florestais, com aplicações tecnológicas e de conservação, até a ampliação de registros sobre o comportamento do clima em diferentes regiões do Brasil, permitindo um melhor conhecimento sobre os biomas Caatinga e Cerrado. (CNPq, FAPITEC, FAPEMIG).



# DENDROECOLOGÍA Y DENDROCLIMATOLOGÍA DE ÁRBOLES LONGEVOS EN AMÉRICA DEL SUR

**Fidel A. Roig<sup>1,2</sup>, Mario Tomazello Filho<sup>3</sup> & José A. Boninsegna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Dendrocronología, IANIGLA-CCT-CONICET, Mendoza, Argentina.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias.

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, Brasil.

[froig@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:froig@mendoza-conicet.gob.ar)

La variabilidad y el cambio climático no está lo suficientemente comprendido en términos de su historia y causas. Este conocimiento es crítico para evaluar el grado de influencia del hombre en las anomalías del clima observadas actualmente. Alcanzar esto implica contar con largos registros que indiquen características del clima pasado con alta resolución temporal. Los anillos de crecimiento de los árboles suplen esta premisa. Desde que en 1957 Edmund Schulman deslumbrara al mundo con el hallazgo de un árbol de 4723 años de edad en las montañas de California, los dendrocronólogos han experimentado desvelos por encontrar árboles viejos en otras partes del mundo. Sin embargo, no todos los árboles presentan largos ciclos de vida, ocupan vastas geográficas o sus maderas se conservan para extender las cronologías de anillos de crecimiento mediante técnicas de cross-dating. En América del Sur, los árboles más longevos se encuentran en Patagonia. Algunas especies son varias veces centenarias otras alcanzan algunos milenios. En la mayoría de los casos, un denominador común es su relativamente reducida expansión territorial. En el frío y seco altiplano también es posible encontrar pequeños árboles longevos. En la actualidad, un gran desafío es la construcción de largas cronologías en ecosistemas tropicales y subtropicales. Aun cuando las cronologías han resultado más cortas que en las regiones templadas, hay especies promisorias que requieren de un esfuerzo colectivo si se pretende alcanzar mayores registros y áreas de cobertura. La ampliación de la información dendrocronológica a los trópicos es básica para un mejor entendimiento de los mecanismos de circulación atmosférica a mayor escala geográfica y temporal. Con independencia de las regiones señaladas, un número de problemas relativos a factores metodológicos, muestrales y del conocimiento profundo de la ecología de los árboles considerados limita nuestra habilidad para identificar en largas cronologías las reales amplitudes del crecimiento durante el pasado. En esta contribución señalamos los casos emblemáticos de largas cronologías de anillos de árboles desarrolladas en América del Sur, sus vinculaciones con áreas focales de interés para estudios climáticos de largo plazo y las perspectivas futuras de trabajo, que paradójicamente incluyen mayor trabajo en períodos recientes del crecimiento para interpretar mejor los proxis climáticos del pasado a escala local, regional y continental.

# ESTUDOS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO EM ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA NO SUL E SUDESTE DO BRASIL

**Juliano Morales de Oliveira<sup>1</sup>, Catia Henriques Callado<sup>2</sup>  
& Paulo César Botosso<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil.

[julianooliveira@unisin.br](mailto:julianooliveira@unisin.br)

<sup>2</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Colombo, PR, Brasil.

O bioma Mata Atlântica compreende diferentes tipos florestais e outros ecossistemas associados, ocorrendo na faixa leste do Brasil e adentrando como ilhas ou maciços em regiões mais interiores do país. Variações de clima e relevo ao longo de seus 1,3 milhões de km<sup>2</sup> determinam uma composição biótica singular, com elevada riqueza de espécies e endemismos. É neste bioma que historicamente vive grande parte da população brasileira e no qual se alicerça a geração econômica do país, às custas de elevada redução e fragmentação dos ecossistemas naturais. Nesse sentido, estudos de anéis de crescimento de espécies arbóreas da Mata Atlântica podem prover evidências históricas sobre a dinâmica desses complexos ecossistemas, contribuindo ao entendimento de processos e mecanismos que regem seu funcionamento, assim favorecendo à sua conservação e uso sustentável. O presente trabalho tem como objetivo apresentar as linhas de pesquisa e resultados obtidos em dois projetos em execução sobre dendrocronologia de espécies de Mata Atlântica. No âmbito do projeto “Biodiversidade dos campos e dos ecótonos campo-floresta no sul do Brasil: bases ecológicas para sua conservação e uso sustentável”, estudos dendrocronológicos visam compreender sobre a dinâmica de florestas mistas de coníferas e angiospermas em ecótonos com campos na região Sul, através da análise de estruturas etárias e sinais dendroclimáticos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze e espécies de Lauraceae. Na megadiversa Floresta Atlântica de Tabuleiros do sudeste do Brasil, no escopo do projeto “Biomass – Mata Atlântica”, várias espécies estão sendo investigadas quanto à formação de anéis de crescimento, estrutura etária, padrões de crescimento e sinais dendroclimáticos, comparando-se também florestas nativas e plantios experimentais. Os resultados obtidos trarão evidências de longo prazo sobre a dinâmica desses ecossistemas, a partir de relações entre condições ambientais, idade e crescimento de espécies arbóreas. (CNPq, FAPERGS, Fundação Araucária e CNA)

# LIANAS DO NOT HAVE WIDE VESSELS AND CLIMATE DOES NOT PREDICT VESSEL DIAMETER: VESSEL-STEM LENGTH SCALING ACROSS THE ANGIOSPERMS

**Mark E. Olson<sup>1</sup>, Tommaso Anfodillo<sup>2</sup>, Julieta A. Rosell<sup>3</sup>, Gaii Petit<sup>4</sup>,  
Alan Crivellaro<sup>4</sup>, Sandrine Isnard<sup>5</sup>, Calixto León<sup>1</sup>,  
Leonardo Alvarado<sup>1</sup> and Matiss Castorena<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, México DF, Mexico.

<sup>2</sup> University of Padova, Department Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Legnaro (PD), Italy.


<sup>3</sup> Macquarie University, Department of Biological Sciences, New South Wales, Australia.

<sup>4</sup> University of Padova, Department Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Legnaro (PD), Italy.

<sup>5</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD) - UMR AMAP, Laboratoire de botanique et d'écologie végétale appliquées, Centre IRD de Nouméa, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

[molson@ib.unam.mx](mailto:molson@ib.unam.mx)

Recent hydraulic optimality models suggest that the average vessel diameter of plants generally is the result of base-to-tip vessel widening reflecting the effects of selection buffering conductive path length-imposed hydraulic resistance. These models state that mean vessel diameter should be predicted by stem length, by implication even in lianas. With 1510 samples from 459 species in 158 families of both self- and non self- supporting plants, we show that vessels widen as predicted with distance from the stem apex across angiosperm orders, habits, and habitats, with no tendency for plants of dry areas to have narrower vessels. Instead, the common finding that plants of moist areas have wider vessels than those of dry areas is likely related to the larger maximum size of mesic versus xeric plants. Our results also show that, far from being exceptional in their vessel diameter, lianas have average natural (not hydraulically weighted) vessel diameters that are indistinguishable for a given stem length from those in self-supporting plants. Lianas, do, however, have wider variance in vessel diameter, with not only a small number of wider vessels than are found in self-supporting plants of similar stem lengths, but also narrower vessels. This slightly wider variance is sufficient to make hydraulically weighted vessel diameters in lianas higher than those of self-supporting counterparts of similar stem lengths. Moreover, lianas have significantly more vessels per unit of wood transection than self-supporting plants do. This subtle combination of slightly higher vessel diameter variance and higher vessel density for a given stem length is likely what makes lianas hydraulically distinctive, rather than their having vessels that are truly extraordinarily wide. Across habits and habitats, because height growth inevitably involves wider vessels basally, the tallest plants in a community have the widest vessels. If excessive vessel diameter entails embolism vulnerability, then maximum plant height will be limited by the widest mean vessel diameter viable at any given site. Predictable vessel widening therefore helps explain why cold, dry areas have low maximum vegetation heights and moist, warm ones are taller, and how environmental alterations, e.g. climate change induced drought, should lead to changes in vegetation height.



# ECOLOGICAL WOOD ANATOMY OF *TOXICODENDRON ORIENTALE* GREENE (ANACARDIACEAE) IN AREAS OF RECENT VOLCANISM (KUNASHIR ISLAND, RUSSIA)

**Anna V. Kopanina**

Ecology Laboratory, Institute of Marine Geology and Geophysics Far East Branch of Russian  
Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin Region, Russia.

[avk@imgg.ru](mailto:avk@imgg.ru)

Ecological wood anatomy of a liana – *Toxicodendron orientale* Greene was investigated in the different conditions, which are changed by hydrothermal and solfatar activity of the Mendeleev volcano, Kunashir Island (Southern Kuril Island, Russia). For anatomy analysis the samples of three contrasting forest and shrubby ecotopes were taken. Microslides, thickness 10-20 µm, were made on sledge freezing microtome. We used light microscopy to examine the sections. There are environmental factors areas of recent volcanism (high temperature, moisture of soil, water salinity, high density of sulphur and arsenic compounds). We found some thermal damage on the leaves and stems of the plants. Ontogenetic features of wood, features of juvenile and mature wood was investigated. Age-related transformations of wood structure are revealed. Eccentric ring growth, false ring growth, associativity feature between vessels and axial parenchyma, vessels in multiples, length of vessel elements, multiseriate ray are in environments affected.

# ANATOMIA ECOLÓGICA DA MADEIRA EM DIFERENTES BIOMAS BRASILEIROS

**Claudia Franca Barros**

Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Diretoria de Pesquisas,  
Laboratório de Botânica Estrutural, Rio de Janeiro, Brasil.

[cbarros@jbrj.gov.br](mailto:cbarros@jbrj.gov.br)

O conhecimento sobre a anatomia da madeira e a arquitetura hidráulica das árvores brasileiras é ainda pouco explorado em abordagens que pretendem conhecer atributos funcionais e os ajustes do xilema para o transporte de água em diferentes condições ambientais. Os tecidos e a arquitetura das plantas são parte importante para a compreensão do funcionamento dos biomas, uma vez que controlam os processos ecossistêmicos e definem habitat e recursos para as espécies. O conhecimento dos custos e dos benefícios dessas características oferece caminho promissor para se compreender como a vegetação muda ao longo de gradientes geográficos. A estrutura celular do xilema do caule é extremamente importante para o desempenho das funções da planta como um todo, entretanto pouco se sabe a respeito dos processos que ajustam a anatomia dos tecidos xilemáticos, em parte devido ao pequeno número de espécies estudadas. Para ajustar o suprimento de água as plantas podem alterar as propriedades da madeira modificando: a porção ocupada por vasos, alterando a composição dos vasos (de muitos vasos estreitos para poucos vasos largos) e regulando a área do caule que supre uma certa proporção de folhas. Esses ajustes visam equilibrar o *trade-off*, no qual diferentes soluções adaptativas para problemas de estrutura/função dependem das demandas ambientais, assim como das restrições filogenéticas. Desta forma, a evolução do xilema pode ser compreendida como uma relação inversamente proporcional entre a eficiência na condutividade e a resistência tanto mecânica quanto ao embolismo. Associando a diversidade de biomas brasileiros com o papel fundamental que a anatomia do xilema desempenha no estabelecimento das espécies em determinadas condições ambientais, foi realizada uma análise qualitativa e quantitativa da madeira de 120 espécies de três diferentes biomas brasileiros: Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia, visando verificar se é possível utilizar os parâmetros anatômicos da madeira para caracterizar os diferentes biomas brasileiros. Os resultados demonstram que as espécies dos três biomas analisados podem ser separadas por bioma, principalmente por atributos relacionados aos elementos de vaso, como frequência, comprimento e diâmetro.



# SOME FUNCTIONAL WOOD ANATOMY TRAITS REVISITED

**Pieter Baas<sup>1</sup> & Elisabeth Wheeler<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Naturalis Biodiversity Center, Herbarium division, Leiden, The Netherlands.

[pieter.baas@naturalis.nl](mailto:pieter.baas@naturalis.nl)

<sup>2</sup>North Carolina State University, Raleigh, USA.

Stimulated by a working group within the COST Action STREeSS (Studying Tree Responses to extreme Events: a Synthesis) of the European Union on “Functional Wood Anatomical traits” (lead by H. Beeckman; cf. also Baas *et al.*, IAWA J. 34: 331-511, 2013), I will revisit the main wood anatomical variables codified in the IAWA Hardwood List (1989) (IAWA J. 10: 219-332, 1989) and reviewed by Wheeler *et al.* (IAWA J. 28: 229-258, 2007), and discuss their potential functional and ecological significance. In many cases new ecophysiological evidence confirms earlier speculative hypotheses on adaptive xylem evolution, resulting in optimal balances of hydraulic safety and efficiency, biomechanical fitness, and metabolic functions in defense and storage of parenchyma cells and septate, living fibres, along global ecological and climatic gradients. The hypothesis that narrow and numerous vessels should always be viewed as an adaptation to hydraulic safety, may need adjustment. This character syndrome can also be seen as the default pattern in shrubs and small trees without demands for high conductive efficiency. Also, many features that are used to help identify clades or species, such as crystal complements, silica bodies, etc., remain poorly understood in functional terms, despite obvious ecological trends in their occurrence and abundance. More comparative studies, relating tree physiology and microscopic anatomy are clearly needed.

# OS ESPOROS DAS BRIÓFITAS: SUA IMPORTÂNCIA FILOGENÉTICA

**Lucas Matheus da Rocha**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, Ituiutaba, MG, Brasil.

[lucas@pontal.ufu.br](mailto:lucas@pontal.ufu.br)

A importância da Palinologia na Sistemática Botânica já foi amplamente debatida e comprovada por meio de estudos relacionando os caracteres dos grãos de pólen e dos esporos com as circunscrições de famílias, gêneros e espécies. Descrições palinológicas detalhadas e adequadamente normatizadas, além de contribuírem sobremaneira com a classificação dos grupos vegetais, podem fomentar estudos relacionados a diversas disciplinas dentro da Botânica, como considerações acerca da Biologia Reprodutiva, Ecologia, Biogeografia e Paleobotânica. Análises palinológicas realizadas para plantas vasculares fanerogâmicas são abundantes na literatura, demonstrando a importância dessa ciência na circunscrição, sistemática e taxonomia de grupos com grande diversidade, porém, apesar das recentes publicações e da ampliação no número de pesquisadores e de trabalhos publicados, a utilização de caracteres palinológicos ainda encontra limitações dentro da briologia.

Os esporos compõem a evidência mais antiga da transição das plantas para o ambiente terrestre e a análise palinológica de briófitas demonstra extrema importância, já que evidencia aspectos que não se relacionam em nenhuma outra fase do ciclo de vida destas plantas. No entanto, não obstante à corroborada contribuição da análise palinológica na circunscrição, sistemática e taxonomia de diversos grupos de briófitas, a utilização de caracteres dos esporos na reconstrução de hipóteses de relacionamento de táxons em briófitas, ainda é embrionário. Vários motivos podem ser apontados como os determinantes para o reduzido interesse na inclusão de caracteres palinológicos em filogenias de briófitas, contudo, alguns entraves se destacam.

Embora o padrão de ornamentação do esporoderma forneça informações determinantes para distinção de táxons, considerando que os esporos não apresentam modificações em função de alterações ambientais, poucos trabalhos incluem a ornamentação dos esporos como mais um caráter. O tamanho reduzido, a carência de equipamentos de microscopia capazes de elucidar os detalhes das superfícies dos esporos e, ainda, a falta de uniformização nas descrições palinológicas compromete o emprego destes dados em reconstruções filogenéticas.

A insuficiência de padronização nos protocolos de tratamento, buscando o mínimo de modificação em estrutura e tamanho, usados no preparo dos esporos dificulta a comparação dos dados em estudos distintos, impedindo a inclusão de informações palinológicas originadas de diferentes análises em uma mesma filogenia. O recente avanço na taxonomia e sistemática de briófitas no Brasil, com o surgimento de maior número de especialistas e publicações não se converteu em um acréscimo no número de palinólogos na área, onde ainda existem lacunas importantes em diversos táxons, a despeito do aumento no número de trabalhos publicados nos últimos anos, ou seja, há uma necessidade na formação contínua de recursos humanos capacitados para o estudo palinológico das briófitas.

Da mesma forma, o atual predomínio das filogenias moleculares em todos os grupos vegetais, aliado às lacunas existentes pelos agentes supracitados, contribui para a diminuta participação da





palinologia na filogenia de briófitas, apesar de estudos recentes defenderem a importância do retorno ao emprego e busca por fontes de caracteres morfológicos seguros em reconstruções filogenéticas.

Em suma, ainda que os esporos ofereçam informações significativas que precisam ser levadas em consideração na taxonomia de briófitas, ainda existem impedimentos que devem ser mitigados, possibilitando a ampla aplicação da palinologia de briófitas nas reconstruções de hipóteses de relacionamento dentro deste grupo vegetal.

# NUEVOS HALLAZGOS SOBRE LA ULTRAESTRUCTURA DE LAS PAREDES DE LAS ESPORAS PRODUCIDAS POR LOS HELECHOS Y LICOFITAS

**Marta Alicia Morbelli**

Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Cátedra de Palinología.  
[mmorbelli@rocketmail.com](mailto:mmorbelli@rocketmail.com)

## Introducción

La exposición constituirá una reseña de los conocimientos logrados por los estudios del grupo de trabajo de las Cátedras de Palinología y de Morfología Vegetal de la Plata. Nuestros estudios sobre ultraestructura han sido sobre las paredes de las esporas de los Helechos y a partir de 1986 sobre Lycophyta. Nuestra referencia fundamental fueron los trabajos del Dr. Bernard Lugardon en Francia y del Dr. John R. Rowley en Suecia.

A pesar de los años transcurridos y de las numerosas contribuciones que hemos realizado sabemos que estamos en los comienzos de nuestros estudios.

Los objetivos de esta exposición son los de exponer los conocimientos ganados a partir de nuestra Flora y sobre material del Cono Sur de América. Estos resultados están dirigidos a los Botánicos, los Palinólogos, tanto a los Neopalinólogos como a los Paleopalinólogos y a los Paleobotánicos. Se han seleccionado para estos fines los taxa de Helechos con esporas más diversas y dentro de las Lycophyta solo a las microsporas, poniendo énfasis en sus modos de liberación, en su organización general, en las características de sus paredes y en su valor sistemático y funcional.

## Métodos de preparación e instrumental de observación utilizado

Se ha utilizado material fresco fijado y de herbario hidratado con Buffer de Fosfato y alcian blue (según la metodología de Rowley & Nilsson 1972). El material fresco fue obtenido en el campo y fijado en el mismo lugar de colección. Luego fue tratado por las técnicas para microscopía óptica (MO), electrónica de barrido MEB y transmisión (MET).

## Caracteres ultraestructurales de las paredes de las esporas producidas por Helechos

### *Exosporio*

Si bien se ha estudiado la subestructura del exosporio. Sólo se ha llevado a cabo en *Lycopodium* (Sengupta & Rowley 1974). Por experimentación con oxidantes tales como el permanganato de

potasio y el 2-aminoetanol. Rowley (1970) ha logrado disolver al exosporio y poner en evidencia sus elementos constitutivos o unidades, estos son cordones con una disposición helicoidal.

### *Dennstaedtia dissecta* Yañez, Marquez y Morbelli (Dennstaedtiaceae)

El exosporio de los Helechos estudiados es de estructura homogénea, a tal punto que autores tales como Lugardon (1991) lo han definido como "aestructurado" (carente de estructura). No obstante, según el plano de sección con ultramicrotomía se ponen en evidencia en forma parcial o completa **canales** que atraviesan el exosporio radialmente, y se ramifican y fusionan con otros en el seno de esta pared. La parte más profunda del exosporio presenta una secuencia de cavidades a las cuales se unen los canales radiales que atraviesan toda esta pared.

### *Lesuras*

#### *Melpomene peruviana* (Desvaux) A. R. Smith and R. C. Moran (Grammitidaceae)

Las aberturas pueden ser una, tres o no estar presentes. La ultraestructura de la/las lesuras ubicadas en la parte proximal de la espora están compuestas por un arqueamiento y crecimiento pronunciado de las márgenes del exosporio, a nivel de la comisura y poseen, canales cortos, delgados, ubicados en forma perpendicular a la lesura.

#### *Anogramma chaerophylla* (Desv.) Link (Pteridaceae)

Numerosos canales también se conectan en la parte basal profunda de la comisura. Los canales son de menor diámetro que los que se presentan en posición radial en el resto de exosporio (Ramos Giacosa *et al.* 2007).

### *Perisporio*

Si no se han realizado estudios de desarrollo de esporas debemos buscar evidencias para considerar su identidad y organización. El perisporio está claramente estabilizado por una esporopolenina diferente que la del exosporio. Es una pared que se desarrolla sobre la superficie externa del exosporio después de este y tiene diferente contraste, ultraestructura y subestructura que el exosporio. Su espesor estructura, número de estratos, ultra y subestructura de los mismos son determinantes para su reconocimiento. Sus componentes son entre otros: lamelas, fibrillas y cordones. Por lo general presenta espacios a distintos niveles (caveas) y perforaciones.

Citaremos tipos característicos de estructura tal como: psilado, alveolar y cavado (desprendido en regiones particulares). En cuanto a la ultraestructura posee variada cantidad de estratos. Se encuentran además perisporios camerados, con dos o tres estratos o múltiples cámaras y estratos (Giudice *et al.* 2000).

El grado de complejidad que puede alcanzar esta pared es muy amplio. Así se citaran el perisporio con dos capas, la interna con tres estratos y la externa con cavidades y cordones (Marquez 2009, 2013).

Las características mencionadas serán ejemplificadas por los trabajos publicados por los investigadores de nuestro grupo de trabajo. Se citarán los taxa que evidencian mejor cada una de ellas.

### *Adiantum digitatum* Hieron. (*Adiantaceae*)

El perisporio en este posee cámaras que se observan superficialmente como verrugas distribuidas aleatoriamente y observada a grandes aumentos una estructura compacta por cordones y alvéolos, la que podría definirse como alveolar y sus unidades presentan subestructura compuesta por cordones enrollados de manera helicoidal. Estos cordones están dispuestos en varias direcciones en el seno del perisporio. Esto puede observarse de un detalle a gran aumento donde se evidencian secciones transversales circulares de los cordones.

### *Asplenium praemorsum* Sw. (*Aspleniaceae*)

En este caso la esporodermis posee un perisporio camerado, constituido por 2 estratos ya que, los lomos (o pliegues) poseen cámaras las cuales están recubiertas por una capa constituida por lamelas superpuestas. Esta capa más externa tapiza tanto el interior de las cavidades como la superficie externa del perisporio (Morbelli & Giudice 2005).

### *Doryopteris crenulans* (Fée) H. Christ (*Pteridaceae*)

La esporodermis posee un perisporio camerado, con 3 estratos. Un estrato interno constituido por una parte menos contrastada, uno medio con barras ubicadas radialmente que tienen continuidad con los estratos interno y externo. Las barras en un corte delgado muestran una estructura interna helicoidal y un estrato externo que muestra la misma constitución que el interno. Existe una capa externa más contrastada que tapiza todas las superficies expuestas de las barras (Giudice *et al.* 2002).

### *Notholaena galapagensis* Weath. & Svenson (*Pteridaceae*)

Las esporodermis posee un perisporio con tres estratos el externo discontinuo que constituye un espacio medio continuo conectado con el exterior. El estrato medio integrado por cordones que se anastomosan formando una estructura alveolar. Un estrato interno, continuo, delgado, adherido al exosporio. Se distingue una capa externa continua que tapiza todas las superficies expuestas de los elementos estructurales de las tres capas.

### *Argyrosma stuebeliana* (Hieron.) Windham (*Pteridaceae*)

El perisporio en este género es complejo ya que presenta una suma de todos los estratos tomados como referencia hasta el momento. Este se podría definir como multicamerado con dos estratos. El estrato interno posee tres estratos y las crestas externas forman cámaras conectadas por medio de perforaciones. (Morbelli *et al.* 2001).

### *Annogramma chaerophylla* (Desv.) Link (*Pteridaceae*)

El perisporio en este caso es compacto con tres estratos, interno y externo similares y el estrato medio integrado con bloques sólidos con diferentes contraste.

### *Asplenium serra* Langsd. & Fisch. (*Aspleniaceae*)

Las esporas de esta especie poseen perisporio pilado. El mismo está constituido por tres estratos en sección. El estrato medio es el más ancho y está formado por pilares que determinan una

pared totalmente formada por espacios que son de gran tamaño y de menor tamaño sobre la superficie (Morbelli & Giudice 2005).

### *Alsophyla odonelliana* (Alston) M. Lehnert (Cyatheaceae)

El perisporio posee dos capas, la interna con tres estratos y la externa con cavidades y cordones. Perisporio interno con tres estratos: interno alveolar (i); medio con muros (m) y externo (o) homogéneo y de grosor irregular. Perisporio externo con cavidades, compuesto por elementos de sección circular constituyendo cordones (Marquez *et al.* 2009).

Es común la presencia de glóbulos y esférulas sobre la superficie del perisporio o incluidos dentro del mismo.

### *Anogramma chaerophylla* (Desv.) Link (Pteridaceae)

Las esporas de este género poseen un perisporio, fuertemente adherido al exosporio y se observan esférulas sobre y dentro del mismo.

### *Melpomene peruviana* (Desvaux) A. R. Smith and R. C. Moran (Grammitidaceae)

Muestra la presencia de glóbulos sobre su superficie.

**Glóbulos.** Son esferoides que tienen la misma composición que la esporodermis. Exosporio en su centro y perisporio en su cubierta. Su presencia y ultraestructura fue definida por Lugardon (1983) quien los consideró análogos a los corpúsculos de Ubisch de las Espermatophytas. (Morbelli 1977 a)

**Esférulas.** Tienen la misma composición y estratificación que el perisporio definidos por Tryon y Lugardon (1991).

## *Novedades en la ultraestructura de las microsporas de las Lycophyta - Selaginellales*

Las Selaginellaceae son un grupo muy estudiado desde el punto de vista vegetativo, su hábito, su disposición en estróbilos terminales y la posición de sus microsporangios en los estróbilos aunque han sido y parcialmente estudiadas desde el punto de vista palinológico y específicamente ultraestructural tanto actual como fósil. Siempre se ha dado prioridad al estudio de las megasporas y las microsporas como extremadamente diferentes de las primeras y de pequeño tamaño no han sido lo suficientemente estudiadas, de manera que los resultados han sido dedicados a especies particulares donde se adjuntan como un carácter más al estudio de una especie particular. La escultura es diferencial en ambos polos. Se dispersan en forma aislada o en tétrades permanentes. Secuencialmente (Morbelli *et al.* 2001).

Hasta el momento se reconocen dos tipos de liberación de las microsporas en este grupo: en forma aislada o bien en tétrades permanentes. La mayoría de las microsporas se liberan en forma aislada. Una breve presentación de las características generales de las esporas liberadas en forma aislada será suficiente para conocer las bases de las características y la organización de aquellas microsporas que se liberan en tétrades permanentes.

Las microsporas de las Selaginellales tienen organización, número de paredes, estructura y estratificación diferente. No hay acuerdo entre los investigadores en la definición del exosporio y cuantas capas posee y la denominación. El número de paredes estabilizadas por esporopolenina, varía desde una capa con dos estratos. (Canales radiales la atraviesan completamente) o dos estratos de exosporio desarrollados secuencialmente. En este último caso existe una separación entre las mismas.

### *Exosporio de una capa en microsporas de Selaginella*

*Selaginella sulcata* (Desv.) Spring ex Martius - Las esporas poseen exosporio con una capa y esta con dos estratos discernibles. Se observa que canales radiales anchos lo atraviesan completamente en la pared distal.

*Selaginella muscosa* Spring. - Las esporas poseen dos superficies polares con distinta ornamentación. En sección el exosporio tiene componentes estructurales orientados en la parte proximal a ambos lados de la lesura y caveas distribuidas en todo el espesor. El perisporio es delgado y adherido en todo su contorno incluyendo las espinas Morbelli *et al.* (2001).

### *Exosporio con doble pared en microsporas de Selaginella*

*Selaginella sellowii* Hieron. - El exosporio está compuesto por dos capas de distinta complejidad, desprendidas en el polo distal y zona ecuatorial. Han sido consideradas como capas del exosporio desarrolladas secuencialmente (Morbelli *et al.* 2001).

### *Tétradas de microsporas de Selaginella*

En estas agrupaciones mayores se dan a conocer las características internas y externas de su organización, tomándose como ejemplos a *Selaginella convoluta* (Walk. et Arnoff) Spreng. la cual se encuentra en (NW de Argentina, Bolivia y Brasil) y *Selaginella lepidophylla* (Hook. et Grev.) Spring (del Neotrópico). Este estudio fue llevado a cabo en colaboración de la Dra M. Morbelli y el Dr. B. Lugardon. Ambas especies son típicas de ambientes desérticos y tienen hábito arrosado, cuando cae lluvia se desenrollan sus trofofilos y cumplen su ciclo de vida. Las tétrades de las dos especies estudiadas tienen varias similitudes y muestran ciertas adaptaciones desde el punto estructural y ultraestructural. Esas diferencias se presentan a nivel específico. Se analizó el desarrollo de ambas tétrades y de sus mecanismos diferenciados para permanecer unidas.

### *Tétrades de microsporas producidas por Selaginella convoluta (Walk. et Arnoff) Spreng.*

Se presentan vistas superficiales de los dos tipos de tétrades mostrando los puentes de exosporio que mantienen fuertemente unidas a las 4 microsporas y vistas proximales que muestran en el ecuador parte de los puentes de exosporio y una superficie proximal ornamentada con elementos de forma variada bajos. El exosporio ecuatorial y distal es de alveolar y posee perforaciones en los puentes ecuatoriales. En las dos vistas generales puede apreciarse la ornamentación distal también alveolar. Puede observarse en un corte semifino y observado con microscopio óptico esa condición alveolar externa.

### *Tétrades de microsporas producidas por Selaginella lepidophylla (Hook. et Grev.) Spring*

Las cuatro microsporas están reunidas dentro de una cubierta común y fusionada a esta por un lomo distal prominente. Una de las esporas tiene superficie alveolar con alvéolos perforados distalmente y el resto presenta una superficie distal rugosa. Se presenta documentación tomada al MEB y MET donde se encuentran estas estructuras.

## Principales resultados hallados hasta el momento

- ▶ Las diferencias que se presentan en helechos a nivel de las lesuras en la estructura de la esporodermis, en sección y en superficie tienen valor sistemático a nivel genérico y en algunos casos a nivel específico.
- ▶ Las microsporas de *Selaginella convoluta* y *S. lepidophylla* están reunidas en tétrades permanentes. Las características de las aberturas son muy diferentes de aquellas descritas en estudios previos tanto en material actual como fósil. La estructura trilete en la cara proximal parece estar apreciablemente modificada y se puede asumir que la fractura proximal se encuentra relacionada con el desarrollo del gametofito y que corresponde a la abertura proximal
- ▶ Las diferencias en la organización de las tétradas ya sea a nivel estructural y ultraestructural se presentan a nivel específico.
- ▶ En *Selaginella lepidophylla* los miembros de la tétrade están incluidos dentro de una cubierta compleja compartida. Así cada microspora está separada de las otras tres pero cada una de ellas está fusionada a la cubierta externa. Este tipo de tétrade de microsporas no se conoce dentro de los grupos de helechos vivientes.
- ▶ Estos dos tipos de tétrades demuestran la sorprendente diversidad estructural de la esporodermis en las Selaginellaceae vivientes.
- ▶ Ellas también enfatizan la considerable importancia de futuros estudios ultraestructurales y ontogénicos sobre las esporas de este complejo grupo de Licopsidas.

## Agradecimientos

A la Asociación Latinoamericana de Botánica; a la Comisión Organizadora del Congreso Latinoamericano de Botánica; al Dr. Francisco Assis Ribeiro dos Santos; a la Universidad Nacional de La Plata, CONICET y ANPCyT, Buenos Aires, Argentina; al Departamento de Botánica de la Universidad de Estocolmo, Suecia; al equipo de Palinólogos de las Cátedras de Morfología Vegetal y Palinología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata, Argentina; a la memoria de mis maestros Juan C. Gamero, Elías R. De La Sota, Bernard Lugardon y John R. Rowley.

## Referencias

- Giudice, G.E.; Morbelli M.A.; Macluf, C.C.; Hernández, M. & Ruiz, A. 2006. Morphology and ultrastructure of the spores of (Dennstaedtiaceae) from North West Argentina. **Review of Palaeobotany and Palynology 141**: 245-257
- Giudice, G.E.; Morbelli M.A. & Piñeiro, M.R.. 2000. Palynological analysis of *Doryopteris* species (Pteridaceae-Pteridophyta) from Northwestern Argentina. **Grana 39**: 279-287.
- Giudice, G. E., Morbelli, M.A. & Piñeiro, M.R. 2002. Palynological study in Aspleniaceae from North-west Argentina. **Bol. Soc. Argent Bot. 37**: 217-229.
- Lugardon, B. 1981. Les globules des filicinées, homologues des corps d'Ubisch des Spermatophytes. **Pollen et Spores 23**: 93-124.
- Lugardon, B. & Morbelli, M.A. 2004. Microspore wall organization and ultrastructure in two species of *Selaginella* (Lycophyta) producing permanent tetrads. 11th International Palynological Congress, Granada, Spain, 4-9 July: 42.

- Marquez, G.J.; Morbelli M.A. & Giudice, G.E. 2009. Comparative analysis of spores of *Alsophila* (Cyatheaceae) species from southern South America. **Review of Palaeobotany and Palynology 156**: 165-176.
- Morbelli, M.A. 1977. Esporas de las especies argentinas de *Selaginella* (Selaginellaceae–Pteridophyta). **Obra del Centenario del Museo de La Plata 3** (Botánica): 121-150.
- Morbelli, M.A. 1977a. "Presencia de Corpúsculos de Ubisch en las esporas de las Pteridofitas". **Obra del Centenario del Museo de La Plata 3** (Botánica): 237-247.
- Morbelli, M.A & Giudice, G.E. 2005. Spore wall ultrastructure in *Aspleniaceae* (Pteridophyta) from North-West Argentina. **Review of Palaeobotany and Palynology 135**: 131-143.
- Morbelli, M.A & † Lugardon, B. 2012. Microspore wall organisation and ultrastructure in two species of *Selaginella* (Lycophyta) producing permanent tetrads. **Grana 51**: 97-106.
- Morbelli, M.A.; Ponce, M.M.; Macluf, C.C. & Piñeiro, M.R. 2001. Palynological study of *Argyrochosma* and *Notholaena* (Pteridaceae) species from South America. **Grana 40**: 280-291.
- Morbelli, M.A.; Rowley, J.R. & Claugher, D. 2001. Spore wall structure in *Selaginella* (Lycophyta) species growing in Argentina. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 36**, 315-368.
- Ramos G.J.P.; Morbelli, M.A. & Giudice, G.E. 2004. Spore wall ultrastructure in *Anogramma* species (Pteridaceae) from Argentina. **Grana 43**: 231-237.
- Ramos G.J.P.; Morbelli, M.A. & Giudice, G.E. 2007. Morphology and ultrastructure of the spores of the Grammitidaceae from Argentina. **Review of Palaeobotany and Palynology 143**:155-166.
- Rowley, J.R & Nilsson, S. 1972. Structural stabilization for electron microscopy of pollen from herbarium specimens. **Grana 12**: 23-30
- Sengupta, S. & Rowley, J.R. 1974. Re-exposure of tapes at high temperature and pressure in the *Lycopodium clavatum* spore exine. **Grana 14**:143-151
- Rowley, J.R. & Morbelli, M.A. 2002. Microspore wall ultrastructure in *Selaginella kraussiana* (Lycophyta). **Taiwania 47**: 115-128.
- Tryon, A.F. & Lugardon, B. 1991. **Spores of Pteridophyta**. Surface, wall structure, and diversity based on electron microscope studies. New York: Springer.



# ULTRAESTRUCTURA DE LA EXINA DE *SCHLECHTENDALIA LUZULAEFOLIA* LESS. (ASTERACEAE, BARNADESIOIDEAE)

**María Cristina Telleria**

Museo de La Plata, Laboratorio de Sistemática y Biología Evolutiva, CONICET, La Plata, Argentina.

[mariatelleria@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:mariatelleria@fcnym.unlp.edu.ar)

*Schlechtendalia luzulaefolia* es un género monotípico de Barnadesioideae. Esta subfamilia, considerada monofilética y hermana del resto de Asteraceae, posee ca. 90 especies exclusivas de Sudamérica, principalmente se distribuyen en la región andina. Los estudios moleculares realizados en Barnadesioideae han contribuido a resolver las relaciones filogenéticas entre los miembros de la subfamilia aunque la situación de *Schlechtendalia luzulaefolia* aún no es clara. Tanto sus caracteres extra-palinológicos como genéticos son considerados únicos dentro de la subfamilia.

El polen de *Schlechtendalia* se asemeja, por su exomorfología, al de las especies de *Dasyphyllum* que poseen depresiones intercolpales y escultura microequinada; sin embargo difieren en su estructura. El análisis realizado con microscopía de transmisión, mostró que algunos caracteres ultraestructurales de la exina presentes en *Schlechtendalia* se apartan del patrón general que caracteriza a la subfamilia. Si bien comparten una exina con la capa basal muy reducida y discontinua, y un tectum externo con escasas perforaciones, *Schlechtendalia* posee caracteres distintivos como son la presencia de columelas más compactas, libres (i.e. no están entremezcladas con gránulos como en el resto de la subfamilia), y un conspicuo tectum interno.

Este tectum está formado por gránulos cohesionados y tiene una apariencia similar a la capa más interna de la ectexina presente en el polen de los otros miembros de la subfamilia. Además el tectum interno está atravesado por columelas que se ramifican debajo del tectum externo como se observa en el polen de Mutisioideae que es otra de las ramas basales de Asteraceae. El estudio realizado es otra evidencia de la naturaleza críptica de esta especie y pone de relieve, una vez más, la importancia de la ultraestructura de la exina en el estudio de las relaciones taxonómicas y filogenéticas.

# MELISSOPALINOLOGIA: PODEMOS TIRAR PROVEITOS DE UMA CONTAMINAÇÃO

**Carlos Alfredo Lopes de Carvalho<sup>1</sup> & Francisco de Assis Ribeiro dos Santos<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brasil.

[calfredo@ufrb.edu.br](mailto:calfredo@ufrb.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil.

[fasantos@uefs.br](mailto:fasantos@uefs.br)

O mel é o alimento “processado”, talvez mais antigo que se tenha registro. É também o que tem maior durabilidade sem a introdução de aditivos químicos, como os encontrados em recipientes nas pirâmides egípcias com mais de 3.000 anos em condições de uso *in natura*. As abelhas processam e desidratam o néctar coletado principalmente nas flores e produzem este alimento de excepcional qualidade nutricional. Contudo, nessa tarefa de coletar o néctar e desidratá-lo, partículas diminutas das flores – como os grãos de pólen – “contaminam” o preparado. Essa contaminação não é maléfica, pois além de não causar danos ao produto mel e a quem o consome, os grãos de pólen podem fornecer evidências explícitas da flora visitada pelas abelhas durante a coleta do néctar.


Dessa forma, com o conhecimento dos grãos de pólen presentes numa amostra de mel é possível inferir sobre quais as espécies vegetais que provavelmente forneceram os insumos (principalmente néctar) para a formação do produto. Na análise palinológica das plantas, o pesquisador irá identificar características próprias desses elementos microscópicos que irão levar a uma vinculação com um táxon qualquer (planta ou grupo de plantas, espécie, gêneros ou famílias).

Como essas características dos grãos de pólen são constantes e estão sempre relacionada a sua planta de origem, é possível a identificação das prováveis plantas que forneceram o respectivo néctar à produção do mel.

É neste contexto que a melissopalinoLOGIA faz uso dos grãos de pólen contaminantes do mel para determinação da sua origem botânica (quais plantas forneceram o néctar) e geográfica (em qual região o mel foi produzido). O conhecimento palinológico das floras locais e regionais é de primordial importância, pois sem um banco de dados palinológicos torna-se quase impossível a identificação taxonômica dos grãos de pólen presentes em uma amostra de mel ou de qualquer outro produto das abelhas. Uma vez identificados os grãos de pólen, será preciso discernir o potencial melífero das respectivas plantas, assim como o conhecimento também da biologia das plantas no tocante à produção de néctar e de pólen é importante para que os dados desses agentes contaminantes do mel possam ser utilizados para agregar valor comercial ao produto.

O reconhecimento da flora que serviu de pasto para as abelhas também permite identificar a área geográfica da produção de mel, uma vez que muitas vezes as plantas têm distribuição geográfica específica, quer seja de forma isolada ou quando em associação. Portanto, a identificação da origem geográfica do mel, ou de outro produto apícola, poderá assim ser também estimada.

O produtor de mel ou um pesquisador dos produtos apícolas poderá fazer uso dos grãos de pólen contaminantes para o estabelecimento da flora de origem de seu produto e também de seu local de origem, mas desde que ele disponha de dados confiáveis para suas análises. Méis, por exem-



plo, produzidos no Nordeste do Brasil apresentam um espectro de grãos de pólen muito grande, e geralmente com a presença de muitos representantes da família Leguminosae, especialmente tipos polínicos relacionados ao gênero *Mimosa*. Contudo, este táxon está presente em outras áreas do Brasil, sendo necessário fazer uso da associação de elementos da flora. O reconhecimento de grãos de pólen de plantas como *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), por exemplo, associados aos de *Mimosa* poderá ser um determinante eficaz na localização da produção do mel na região Nordeste.

A literatura melissopalínológica traz muitos exemplos de associações (ou assembleias) palinológicas que podem ser de uso na determinação da origem geográfica de produtos apícolas.

A contaminação do néctar coletado pelas abelhas com grãos de pólen é especial pela possibilidade de prover evidências para (a) indicar sua fonte botânica, (b) sua origem geográfica e (c) para também atestar a autenticidade do mel, uma vez que não há mel (natural) sem grãos de pólen.

# AEROBIOLOGIA: A EXPERIÊNCIA DO SUL DO BRASIL

**Sandra Maria Vergamini**

Universidade de Caxias do Sul, Caxias, Brasil.

[smvergam@ucs.br](mailto:smvergam@ucs.br)

## Introdução

O termo Aerobiologia foi conhecido nos anos 30 por Fred C. Meier, com a finalidade de incluir esta denominação para os estudos que estavam se realizando sobre esporos de fungos, grãos de pólen e bactérias encontradas na atmosfera (Gregory 1973).

Aerobiologia, segundo Pathirane (1975), é uma ciência multidisciplinar que compreende a liberação, retenção, dispersão, deposição e incidência atmosférica de esporos, pólen e outros microorganismos aerotransportados.

Aerobiologia é uma ciência em constante evolução e apresenta aplicações em diversos campos, é interdisciplinar, necessitando de diversas áreas do conhecimento (agronomia, medicina, física, botânica, zoologia, ecologia, etc).

O primeiro trabalho no Brasil sobre “pólen/alergia” surgiu com a publicação “Existe a febre do feno no Brasil?” (Carini 1908) que percebeu o aparecimento da moléstia correspondendo à época da florescência de certas plantas, especialmente o feno.

O Estado do Rio Grande do Sul pela sua fisionomia Botânica e sua localização geográfica, limitando-se com países em que a polinose constitui problema para os alergistas, apresenta uma maior probabilidade para manifestações alérgicas, devido aos grãos de pólen.

Um dos trabalhos que se tem conhecimento de Aerobiologia em Porto Alegre é o de Oliveira Lima *et al.* (1946). Neste trabalho, as lâminas foram expostas na zona urbana da cidade, no período de fevereiro a novembro de 1942.

No Rio Grande do Sul, a incidência de grãos de pólen no norte, sul, leste e oeste e a relação de reações cutâneas positivas na população alérgica foram investigadas por (Bernd *et al.* 1950). Nessa ocasião contaram com a colaboração do botânico Rambo para a identificação da flora alergógena da região.

No período de abril a dezembro, foram realizadas contagens de pólen aéreo nas cidades de Porto Alegre, Alegrete e Passo Fundo (Bernd & Oliveira Lima 1951).

Segundo (Lorscheitter *et al.* 1988), Caxias do Sul possui uma estação polínica característica que se inicia em setembro e estende-se até o final de dezembro que aliada ao clima subtropical de altitude e alta umidade relativa do ar, propiciam manifestação de polinose em crescente proporção.

Vieira & Negreiros (1989) em seu artigo “Arborização urbana como influência na epidemiologia da polinose na cidade de Caxias do Sul” concluíram que em nossa região existe uma estação polínica de gramíneas, durante os meses de primavera. Lorscheitter & Bernd (1990) realizaram trabalho com objetivo de identificar os componentes da chuva polínica da cidade de Porto Alegre. Foram realizadas 33 coletas de material polínico com o aparelho de Durham no período de setembro de 1987 a novembro de 1988.

Pesquisa de concentração polínica na atmosfera da cidade de Caxias do Sul nos meses de maio a novembro de 1995 foi realizada com o coletor de partículas *Rotorod*, instalado no centro da cidade de Caxias do Sul, a uma altura aproximada de 40 metros (Hilgert 1998).

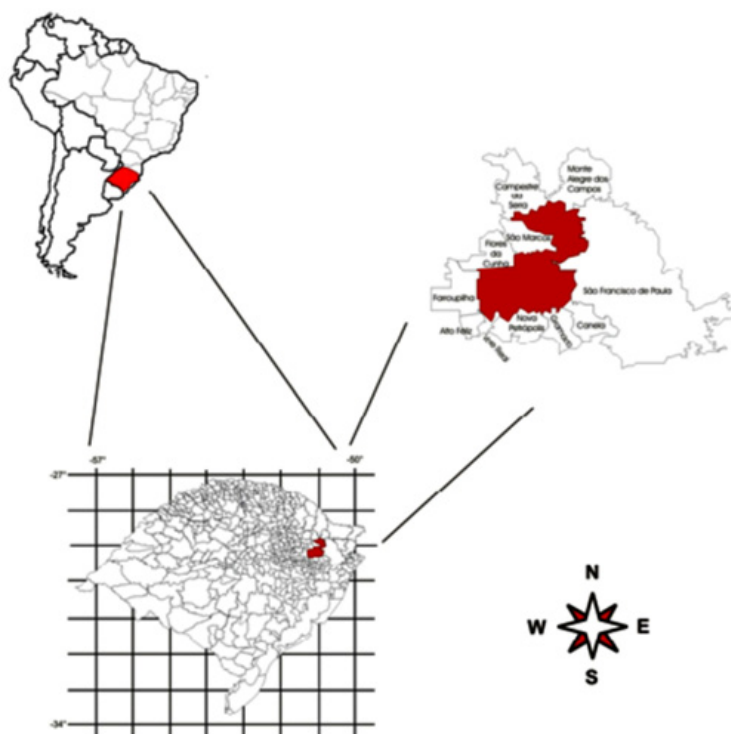
As concentrações polínicas na atmosfera e a capacidade de dispersão dos grãos de pólen estão relacionadas aos fatores fenológicos, fitogeográficos e meteorológicos como temperatura (máxima, média, mínima), precipitação, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e evaporação.

Numerosos trabalhos vêm sendo realizado com o objetivo de conhecer os diferentes grãos de pólen na atmosfera principalmente na Europa, Canadá, EEU e na Argentina. No Brasil Bernd & Oliveira Lima (1951); Melhem & Makino (1978); Bernd & Lorscheitter (1992); Hilgert (1998); Vergamini *et al.* (2006 a,b,c,d); Vergamini & Barrera (2007; 2008; 2009); Vergamini 2012 realizaram trabalhos referentes a grãos de pólen existentes na atmosfera. Os estudos aeobiológicos inéditos com aparelho Burkard foram iniciados em Caxias do Sul, em 2001. As coletas ocorreram, ininterruptamente, pelo período de oito anos consecutivos por Sandra Maria Vergamini. Este estudo gerou o Calendário Polínico de Caxias do Sul, para os anos de 2001 e 2002 (Vergamini 2004). Esse trabalho foi interrompido em 2009, por falta de profissionais preparados nesse campo de investigação.

## Material e Métodos

Caracterização da área de estudo – a cidade de Caxias do Sul está localizada na Encosta Superior do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre os meridianos 51° 30' e 51° 00' leste e os paralelos 28° 15' e 29° 30' Sul (Figura 1) com predomínio de clima tropical semiúmido. A altitude da área de estudo varia entre o máximo de 760 metros e um mínimo de 100 metros junto ao Rio Caí, e apresenta uma área física de 1644.296 km<sup>2</sup>. A pluviosidade média é de cerca de 1821 mm/ano e a temperatura média está em torno de 15,9 °C.

A população é de 435.564 habitantes. A vegetação apresenta três formações distintas: Floresta Ombrófila Mista, Savana Gramínea Lenhosa e Floresta Estacional Decidual.



**Figura 1.** Localização do município de Caxias do Sul.

Coleta e análise de dados – o monitoramento polínico diário realizou-se de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008. Os dados foram obtidos utilizando-se o captador volumétrico de sucção tipo Hirst, modelo Burkard®. O aparelho está instalado no telhado do Hospital Geral da Universidade de Caxias do Sul, a uma altura aproximada de 20 metros, Nas coordenadas 22J0484862 UTM6774144, não havendo obstáculos que bloqueiem a chegada de massa de ar de nenhuma direção.

O captador mantém uma entrada de ar constante de 10 L por min que incide sobre uma superfície de captura (fita de melinex) impregnada com fluido de

silicone, na qual se fixam as partículas aéreas, o que inclui os grãos de pólen. Essa fita é trocada semanalmente, cortada em sete partes, que corresponderam aos sete dias da semana. Após, as lâminas foram confeccionadas utilizando-se gelatina glicerinada com fucsina e analisadas. As análises foram realizadas com um microscópio ótico Leica DMLS, sendo a leitura das mesmas de acordo com o postulado de Domínguez *et al* (1991) realizando-se quatro varreduras longitudinais equidistantes, utilizando uma objetiva de aumento 40x. As concentrações polínicas diárias foram expressas em grãos /m<sup>3</sup> de ar. A metodologia utilizada neste trabalho é inédita no Brasil.

As identificações polínicas basearam-se numa coleção de referência, a palinoteca, confeccionada com material fresco ou herborizado da região, além de atlas especializados Hyde & Adam (1958), Grant (1986), Valdéz *et al.* (1987), Moore *et al.* (1991) e Pire *et al.* (1998).

## Resultados

Na atmosfera de Caxias do Sul, durante o período de 2001 a 2007 foram identificados 57 tipos polínicos, num total de 126.671 grãos de pólen contabilizados. (Tabela 1, 2, 3).

Durante o ano de 2001, foram contabilizados na atmosfera um total de 16221 grãos/m<sup>3</sup> que correspondem a 37 tipos polínicos diferentes. Destes, os mais representativos no espectro aerobiológico foram *Mimosa scabrella* Benth (3656 grãos/m<sup>3</sup> ou 22,54%), Poaceae (3269 grãos/m<sup>3</sup> ou 20,15%), Urticaceae (2066 grãos/m<sup>3</sup> ou 12,74%), Myrtaceae (1930 grãos/m<sup>3</sup> ou 11,90%), Cupressaceae (1215 grãos /m<sup>3</sup> ou 7,49%), *Myrsine* Mez (937 grãos/m<sup>3</sup> ou 5,77%), *Sorocea bonplandii* Burger (577 grãos/m<sup>3</sup> ou 3,56%), Pinaceae (410 grãos/m<sup>3</sup> ou 2,53%), *Ricinus communis* L (296 grãos/m<sup>3</sup> ou 1,82%) e Astera-ceae (313 grãos/m<sup>3</sup> ou 1,93%) O mês de maior concentração polínica foi agosto, com 3858 grãos/m<sup>3</sup>, época de floração de *Mimosa scabrella* Benth.

Em 2002 foram identificados 37 tipos polínicos e quantificados 14248 grãos/m<sup>3</sup> de pólen. O tipo polínico que apresentou maior quantidade de grãos na atmosfera foi Urticaceae contabilizando 3554

**Tabela 1.** Comparativo da concentração polínica por m<sup>3</sup> 2001-2007.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Total	Média
jan	897	731	1948	1494	755	945	885	7655	1094
fev	554	597	737	1470	891	1527	807	6583	940
mar	408	246	711	1174	1172	1114	500	5325	761
abr	710	367	1236	477	1361	478	444	5073	725
mai	259	81	169	448	202	189	33	1381	197
jun	255	87	421	596	243	369	138	2109	301
jul	1190	693	1182	1268	734	1767	1434	8268	1181
ago	3858	2052	2841	2072	2741	4480	1033	19077	2725
set	1692	1957	3110	2372	1260	1199	4248	15837	2262
out	2747	3221	4680	3563	2691	2652	2842	22397	3200
nov	2293	2803	6142	2468	5630	1486	1287	22108	3158
dez	1357	1407	2577	1407	2581	217	787	10332	1476
<b>Total</b>	<b>16221</b>	<b>14248</b>	<b>25753</b>	<b>18809</b>	<b>20781</b>	<b>16423</b>	<b>14436</b>	<b>126671</b>	

**Tabela 2.** Comparativo dos 10 principais tipos polínicos 2001-2007.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1º	<i>Mimosa scabrella</i> (3656 grãos/m <sup>2</sup> )	Urticaceae (3554 grãos/m <sup>2</sup> )	Urticaceae (8331 grãos/m <sup>2</sup> )	Urticaceae (5065 grãos/m <sup>2</sup> )	Urticaceae (5476 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Mimosa scabrella</i> (4230 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Mimosa scabrella</i> (3124 grãos/m <sup>2</sup> )
2º	Poaceae (3269 grãos/m <sup>2</sup> )	Poaceae (2543 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Mimosa scabrella</i> (4379 grãos/m <sup>2</sup> )	Poaceae (2134 grãos/m <sup>2</sup> )	Poaceae (2506 grãos/m <sup>2</sup> )	Urticaceae (3531 grãos/m <sup>2</sup> )	Urticaceae (2052 grãos/m <sup>2</sup> )
3º	Urticaceae (2066 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Mimosa scabrella</i> (2087 grãos/m <sup>2</sup> )	Poaceae (2237 grãos/m <sup>2</sup> )	Cupressaceae (1988 grãos/m <sup>2</sup> )	Cupressaceae (2222 grãos/m <sup>2</sup> )	Cupressaceae (1492 grãos/m <sup>2</sup> )	Poaceae (1741 grãos/m <sup>2</sup> )
4º	Myrtaceae (1930 grãos/m <sup>2</sup> )	Myrtaceae (1190 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Sorocea</i> (2146 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Mimosa scabrella</i> (1928 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Sorocea</i> (1857 grãos/m <sup>2</sup> )	Poaceae (1257 grãos/m <sup>2</sup> )	Myrtaceae (1137 grãos/m <sup>2</sup> )
5º	Cupressaceae (1215 grãos/m <sup>2</sup> )	Cupressaceae (1132 grãos/m <sup>2</sup> )	Myrtaceae (1889 grãos/m <sup>2</sup> )	Myrtaceae (1610 grãos/m <sup>2</sup> )	Myrtaceae (1673 grãos/m <sup>2</sup> )	Myrtaceae (1193 grãos/m <sup>2</sup> )	Cupressaceae (1075 grãos/m <sup>2</sup> )
6º	<i>Myrsine</i> (937 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Sorocea</i> (613 grãos/m <sup>2</sup> )	Cupressaceae (1331 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Sorocea</i> (1319 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Mimosa scabrella</i> (1524 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Myrsine</i> (1048 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Myrsine</i> (942 grãos/m <sup>2</sup> )
7º	<i>Sorocea</i> (577 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Myrsine</i> (539 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Myrsine</i> (1116 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Myrsine</i> (1385 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Myrsine</i> (1385 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Sorocea</i> (519 grãos/m <sup>2</sup> )	Pinaceae (471 grãos/m <sup>2</sup> )
8º	Pinaceae (410 grãos/m <sup>2</sup> )	Pinaceae (464 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Ricinus</i> (723 grãos/m <sup>2</sup> )	Cyperaceae (571 grãos/m <sup>2</sup> )	Asteraceae (459 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Ricinus</i> (409 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Sorocea</i> (436 grãos/m <sup>2</sup> )
9º	Cyperaceae (362 grãos/m <sup>2</sup> )	Asteraceae (361 grãos/m <sup>2</sup> )	Cyperaceae (405 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Ricinus</i> (406 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Ricinus</i> (413 grãos/m <sup>2</sup> )	Asteraceae (347 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Ricinus</i> (429 grãos/m <sup>2</sup> )
10º	<i>Araucaria</i> (361 grãos/m <sup>2</sup> )	<i>Pinus</i> (346 grãos/m <sup>2</sup> )	Asteraceae (337 grãos/m <sup>2</sup> )	Asteraceae (314 grãos/m <sup>2</sup> )	Pinaceae (410 grãos/m <sup>2</sup> )	Ulmaceae (255 grãos/m <sup>2</sup> )	Melastomataceae (375 grãos/m <sup>2</sup> )

**Tabela 3.** Quantidade de grãos/m<sup>3</sup> e porcentagem dos 10 principais tipos polínicos nos 7 anos.

1º	Urticaceae			
2º	<i>Mimosa scabrella</i>	20928	16,52%	2001 16221 grãos/m <sup>2</sup>
3º	Poaceae	15687	12,38%	2002 14248 grãos/m <sup>2</sup>
4º	Myrtaceae	10622	8,39%	2003 25753 grãos/m <sup>2</sup>
5º	Cupressaceae	10455	8,25%	2004 18809 grãos/m <sup>2</sup>
6º	<i>Sorocea</i>	7467	5,89%	2005 20781 grãos/m <sup>2</sup>
7º	<i>Myrsine</i>	7096	5,60%	2006 16423 grãos/m <sup>2</sup>
8º	<i>Ricinus</i>	3022	2,39%	2007 16423 grãos/m <sup>2</sup>
9º	Asteraceae	2409	1,90%	
10º	Pinaceae	2354	1,86%	

**\* Total 7 anos (2001-2007): 126-671 grãos/m<sup>2</sup>**

grãos/m<sup>3</sup> e porcentagem de 24,95%, seguido por Poaceae com 2543 grãos/m<sup>3</sup> (18,84%) e *Mimosa scabrella* Benth com 2087 grãos/m<sup>3</sup> (18,44%) e com quantidades mais baixas Myrtaceae, Cupressaceae, *Myrsine megapotamica* Mez, *Sorocea bonplandii* Burger, Pinaceae, Asteraceae, *Ricinus communis* L. O mês de maior incidência polínica foi outubro coincidindo com a floração de Poaceae e Urticaceae.

Foram identificados no ano de 2003, na atmosfera um total de 25.753 grãos/m<sup>3</sup>, que corresponderam a 47 tipos polínicos diferentes. Destes, os mais representativos no espectro aerobiológico foram Urticaceae (8331 grãos/m<sup>3</sup> ou 32,35%), *Mimosa scabrella* (4379 grãos/m<sup>3</sup> ou 17,00%), Poaceae (2237 grãos/m<sup>3</sup> ou 8,69%), Moraceae (2146 grãos/m<sup>3</sup> ou 8,33%), Myrtaceae (1889 grãos/m<sup>3</sup> ou 7,34%), Cupressaceae (1331 grãos/m<sup>3</sup> ou 5,17%), *Myrsine megapotamica* Mez (1129 grãos/m<sup>3</sup> ou 4,38%), *Ricinus communis* L (723 grãos/m<sup>3</sup> ou 2,81%), Cyperaceae (405 grãos/m<sup>3</sup> ou 1,57%) e Asteraceae (337 grãos/m<sup>3</sup> ou 1,31%), representando 88,95% da concentração total anual. Os três tipos polínicos mais incidentes corresponderam a 58,04% dos grãos identificados. O mês em que ocorreu maior concentração foi novembro (6142 grãos/m<sup>3</sup>) seguido por outubro (4680 grãos/m<sup>3</sup>) meses de primavera onde ocorre a floração de grande parte de vegetação.

No ano de 2004, um total de 18809 grãos/m<sup>3</sup> foi quantificados na atmosfera que correspondem a 45 tipos polínicos. Destes, os mais representativos foram Urticaceae (5065 grãos/m<sup>3</sup> ou 26,93%), Poaceae (2134 grãos/m<sup>3</sup> ou 11,35%), Cupressaceae (1988 grãos/m<sup>3</sup> ou 10,57%), *Mimosa scabrella* Benth (1928 grãos/m<sup>3</sup> ou 10,25%), Myrtaceae (1610 grãos/m<sup>3</sup> ou 8,56%), Moraceae (1319 grãos/m<sup>3</sup> ou 7,01%), *Myrsine megapotamica* Mez (1116 grãos/m<sup>3</sup> ou 5,93%), Cyperaceae (571 grãos/m<sup>3</sup> ou 3,04%), *Ricinus communis* L (406 grãos/m<sup>3</sup> ou 2,16%) e Asteraceae (314 grãos/m<sup>3</sup> ou 1,67%), representando 86,47% da concentração total anual. Os três tipos polínicos mais incidentes corresponderam a 48,85% dos grãos identificados. O mês de maior concentração no ano de 2004 foi outubro contabilizando 3563 grãos/m<sup>3</sup>.

Durante o ano de 2005 foram contabilizados na atmosfera um total de 20781 grãos/m<sup>3</sup>, que corresponderam a 56 tipos polínicos. Destes, os mais representativos no espectro aerobiológico foram Urticaceae (5476 grãos/m<sup>3</sup> ou 26,35%), Poaceae (2506 grãos/m<sup>3</sup> ou 12,06%), Cupressaceae (2222 grãos/m<sup>3</sup> ou 10,69%), *Sorocea bonplandii* Burger (1857 grãos/m<sup>3</sup> ou 8,93%), Myrtaceae (1673 grãos/m<sup>3</sup> ou 8,05%), *Mimosa scabrella* Benth (1524 grãos/m<sup>3</sup> ou 7,33%), *Myrsine megapotamica* Mez (1385 grãos/



m<sup>3</sup> ou 6,66%), Asteraceae (459 grãos/m<sup>3</sup> ou 2,21%), *Ricinus communis* L (413 grãos/m<sup>3</sup> ou 1,99%) e Pinaceae (410 grãos/m<sup>3</sup> ou 1,97%), representando 86,24% da concentração total anual. Os três tipos polínicos mais incidentes corresponderam a 49,10% dos grãos identificados. O mês de maior incidência foi novembro sendo que a maior quantidade de grãos se deve ao tipo polínico de Poaceae.

Um total de 16423 grãos/m<sup>3</sup> foi identificado em 2006 e corresponderam a 54 tipos polínicos. Destes, os mais representativos no espectro aerobiológico foram *Mimosa scabrella* Benth (4230 grãos/m<sup>3</sup> ou 25,76%), Urticaceae (3531 grãos/m<sup>3</sup> ou 21,50%), Cupressaceae (1492 grãos/m<sup>3</sup> ou 9,08%), Poaceae (1257 grãos/m<sup>3</sup> ou 7,65%), Myrtaceae (1193 grãos/m<sup>3</sup> ou 7,26%), *Myrsine megapotamica* Mez (1048 grãos/m<sup>3</sup> ou 6,38%), *Sorocea bonplandii* Burger (519 grãos/m<sup>3</sup> ou 3,16%), *Ricinus communis* L (409 grãos/m<sup>3</sup> ou 2,49%), Asteraceae (347 grãos/m<sup>3</sup> ou 2,11%), Ulmaceae (255 grãos/m<sup>3</sup> 1,55%), representando 86,96% da concentração total anual. Os três tipos polínicos mais incidentes corresponderam a 56,34% dos grãos identificados. Foi o mês de agosto que ocorreu a maior concentração devido ao número de grão de pólen de *Mimosa scabrella* Benth.

Foi identificado, em 2007, um total de 14436 grãos/m<sup>3</sup>, que corresponderam a 57 tipos polínicos diferentes. Destes, os mais representativos no espectro aerobiológico foram *Mimosa scabrella* Benth (3124 grãos/m<sup>3</sup> ou 21,64%), Urticaceae (2052 grãos/m<sup>3</sup> ou 14,21%), Poaceae (1741 grãos/m<sup>3</sup> ou 12,06%), Myrtaceae (1137 grãos/m<sup>3</sup> ou 7,88%), Cupressaceae (1075 grãos/m<sup>3</sup> ou 7,45%), *Myrsine megapotamica* Mez (942 grãos/m<sup>3</sup> ou 6,52%), Pinaceae (471 grãos/m<sup>3</sup> ou 3,26%), Moraceae (436 grãos/m<sup>3</sup> ou 3,02%), *Ricinus communis* L. (429 grãos/m<sup>3</sup> ou 2,97%) e Melastomataceae (375 grãos/m<sup>3</sup> ou 2,60%), representando 81,61% da concentração total anual.

## Discussão

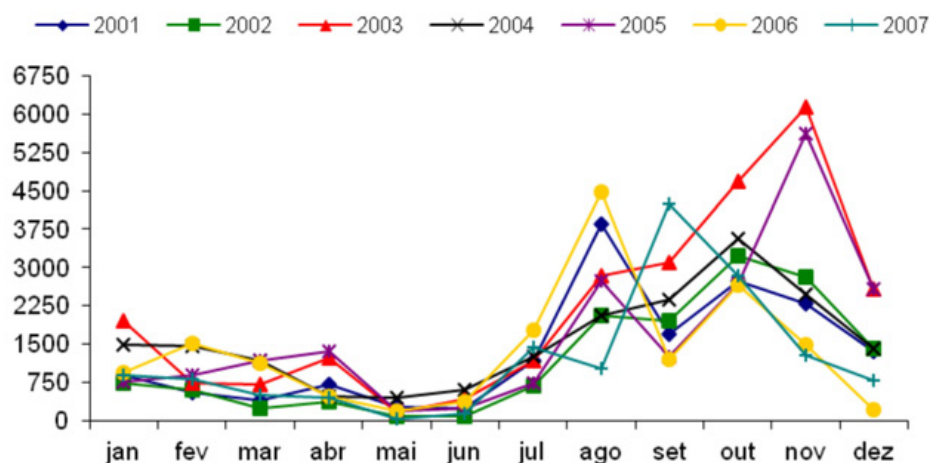
Na cidade de Caxias do Sul os padrões de comportamento estacional que compõem o calendário polínico (Vergamini 2004) são semelhantes aos estudos de concentração polínica com coletor Rotorod Hilgert (1998). É visível a existência de ritmos estacionais dos grãos de pólen, pois as máximas concentrações de pólen ocorrem no inverno e na primavera e as mínimas são registradas no período de verão e outono.

As perspectivas para estudos aeropalinológicos no Brasil, principalmente na Região Sul, são amplas e a partir do conhecimento da flora e das coletas e contagens de grãos de pólen continuadas e repetidas ao longo dos vários anos nesta região, poderemos interpretar a dinâmica e representatividade dos tipos de grãos de pólen emitidos na atmosfera e buscar avaliar o grau de alergenicidade dos tipos polínicos de maior concentração. Dessa forma contribuirá juntamente com outros estudos epidemiológicos, a melhor utilização de extratos específicos que facilitem a melhora no tratamento da polinose que afetam um grupo da população. Esses dados além de contribuir para a medicina, também podem ser utilizados na agricultura, meio ambiente, criminologia entre outros.

## Conclusões

Durante os sete anos de estudo, a presença de grãos de pólen foi constante. Observou-se uma variabilidade estacional, onde foram encontradas concentrações máximas mensais bastante diferenciadas uma na primavera e outra no inverno (Figura 2). As concentrações máximas na primavera se devem principalmente a floração de táxons arbóreo-arbustivo de Asteraceae, Myrtaceae, *Ricinus communis* L. e Urticaceae e dos táxons herbáceos de Cyperaceae, *Plantago lanceolata* L., Poaceae e *Rumex Obtusifolius* L. O pico de inverno se deve fundamentalmente a floração de plantas arbóreas como Cupressaceae, Pinaceae e *Mimosa scabrella* Benth. Os três tipos polínicos mais incidentes,

### Concentração Polínica Comparativo dos Totais Mensais dos 7 Anos



**Figura 2.** Comparativo da concentração polínica de grãos por m<sup>3</sup>/ durante os meses nos 7 anos.

Urticaceae, *Mimosa escabrella* Benth e Poaceae corresponderam a 47,91% dos grãos identificados. Foi no ano de 2003 que ocorreu a maior concentração de grãos de pólen (Tabela 3). Os meses de maiores concentrações polínicas ocorreram em novembro de 2003 com 6142 grãos/m<sup>3</sup> e novembro de 2005 com 5630 grãos /m<sup>3</sup> devido, principalmente, aos grãos de pólen de Urticaceae e setembro do ano de 2007 com 4842 grãos /m<sup>3</sup> onde ocorreram maiores contagens de grãos de pólen de *Mimosa scabrella* Benth. Os dias de maiores incidências polínicas foram dia 9 de novembro de 2003 com 461 grãos/m<sup>3</sup> de Urticaceae, dia 9 de setembro de 2007 com 416 grãos/m<sup>3</sup> de *Mimosa scabrella* Benth e 4 de setembro de 2003 com 405 grãos/m<sup>3</sup> de *Mimosa scabrella* Benth.

## Referências

- Bernd, C.; Oliveira Lima, A. & Guimarães, N. 1950. O problema da polinose no estado do Rio Grande do Sul. Alguns dados sobre a flora alergógena. **O Hospital** 37(2): 297-300.
- Bernd, C. & Oliveira Lima, A. 1951. O problema da polinose no estado do Rio Grande do Sul. Contagens de pólenes aéreos nas cidades de Pôrto Alegre, Alegrete e Passo Fundo. **O Hospital** 39(3): 443-446.
- Bernd, L.A.G. & Lorscheitter, M.L. 1992. Pólenes aéreos em Porto Alegre: estudo da chuva polínica e relação com manifestações clínicas. **Revista da AMRIGS** 36(4): 230-235.
- Carini, A. 1908. Existe febre do fêno no Brazil? **Revista Medica de São Paulo** 2: 23-26.
- Domínguez V.E.; Galán S.C.; Villamandos D.T.F. & Pantaleón I.G.F. 1991. Manejo y evaluación de los datos obtenidos en los muestros aerobiológicos. Monografías **Red Espanhola de Aerobiologia**. 1: 1-3.
- Grant, S.E. 1986. **Sampling and identifying allergenic pollens and molds**. San Antonio, Texas: Blewstone Press. 2:1-98.
- Gregory, P.H. 1973. **The microbiology of the atmosphere**. Leonard Hill Books, Alesbury. 2nd Edition.
- Hilgert, S.B. 1998. Concentração polínica da Cidade de Caxias do Sul – RS, nos meses de maio a novembro de 1995. **Cadernos de Pesquisa / Universidade de Caxias do Sul** 6: 255-276.
- Hyde, H.A. & Adams, K.F. 1958. **An atlas of airborne pollen grains**. New York: St. Martins Press.
- Lorscheitter, M.L. & Bernd, A.C. 1990. Estudo da chuva polínica em Porto Alegre (RS). **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia, edição especial**. 13: 137.
- Lorscheitter, M.L.; Vieira, F.M. & Oliveira, F. 1988. Conteúdo polínico atmosférico na cidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul e sua correlação alergógena. **Alergia Pediátrica** 2: 5-11.

- Melhem, T.S. & Makino, H. 1978. Precipitação polínica na cidade de São Paulo (Brasil). **Hoehnea** 7: 1-10.
- Moore, P.D.; Webb, J.A. & Collinson, M.E. 1991. **Pollen analysis**. Blackwell Scientific Publications, 216p.
- Oliveira Lima, A; Costa, P.D.; Galeno, R. 1946. Contagens de polens aéreos na cidade de Porto Alegre (R. Grande do Sul). **O Hospital** 28 (3): 513-515.
- Pathirane, L. 1975. Aerobiological literature in scientific periodicals **Grana** 15: 145-147
- Pire, SM.; Anzótegui, L.M. 1998. Flora Polínica del Nordeste Argentino. Corrientes, Argentina: **Eudene** 1: 143p.
- Valdéz, B.; Diez, M.J. & Fernández, I. 1987. **Atlas polínico de Andalucía Occidental**. Inst. de Desarrollo Regional de la Universidad de Sevilla. Excm. Diputación de Cádiz. Sevilla. 450.
- Vergamini, S.M. 2012. Estudo Aerobiológico da atmosfera de Caxias do Sul em 2007. **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia** 35: 103-108.
- Vergamini, S.M. & Barrera, V.R. 2007. Concentração de pólen de Urticaceae. **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia** 30: 194-197.
- Vergamini, S.M. & Barrera, V.R. 2008. Variações anuais do conteúdo polínico de *Mimosa scabrella* na atmosfera de Caxias do Sul, Brasil. **Brasília médica** 45: 5-9.
- Vergamini, S.M. & Barrera, V.R. 2009. Concentração polínica de Asteraceae na atmosfera de Caxias do Sul, RS, no período de 2001 a 2006. **Brasília Médica** 46: 23-28.
- Vergamini, S.M.; Barrera, V.R.; Zoppas, B.C.D.A.; Pérez Moráles, C. & Fernández González, D. 2006a. Pollen from tree and shrub taxa in the atmosphere of Caxias do Sul (Rio Grande do Sul, Brazil). **Aerobiologia (Bologna)**, [online] 22: 143-150.
- Vergamini, S.M.; Zoppas, B.C.D.A.; Barrera, V.R. & Fernández González, D. 2006b. Dinâmica aeropalínológica de gramineae na cidade de Caxias do Sul, RS. **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia** 29: 14-17.
- Vergamini, S.M.; Ramos, A.J.K.; Duso, L.; Sbersi, F. & Maffazzioli, T.F. 2006c. Identificação de tipos polínicos não registrados nos estudos aeropalínológicos do Brasil. **Ciência Rural** 36: 1927-1930.
- Vergamini, S.M.; Barrera, V.R.; Sbersi, F. & Maffazzioli, T.F. 2006d. Palinologia do componente herbáceo na atmosfera de Caxias do Sul, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 20: 937-941.
- Vergamini, S.M. 2004. **Estudo Polínico da atmosfera de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese de doutorado, UNILEON - Universidade de León- Espanha, 334pp.
- Vieira, F.A.M. & Negreiros, E.B. 1989. Arborização urbana como influência na epidemiologia da polinose na cidade de Caxias do Sul, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia** 12 114-119.

# EVIDÊNCIAS PALINOLÓGICAS DE CONEXÕES ENTRE AMAZÔNIA E A CAATINGA NO QUATERNÁRIO TARDIO

**Paulo Eduardo de Oliveira**

Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, São Paulo, Brasil.

[paulo.deoliveira@usp.br](mailto:paulo.deoliveira@usp.br)

A discussão sobre a existência no passado de um corredor florestal entre a Amazônia, a Floresta Atlântica e a Caatinga teve início com Andrade-Lima (1953), que destacou a presença de um grande número de táxons botânicos amazônicos nas florestas tropicais da costa nordestina como também por Ducke (1953) e por Ducke & Black (1954), que relataram a presença de táxons botânicos amazônicos em enclaves de florestas na região semi-árida do Nordeste. Mais tarde, Andrade-Lima (1977, 1982) mostrou a presença de táxons arbóreos amazônicos em florestas de altitude, denominadas de brejos nordestinos, inseridas no domínio climático da caatinga pernambucana. Posteriormente, a listagem de espécies amazônicas na flora nordestina foi aumentada graças às contribuições de Rizzini (1963; 1967), Figueiredo *et al.* (1991), Rizzini & Mattos Filho (1992).

Por outro lado, Coimbra-Filho & Câmara (1996) reportaram a ocorrência atual de muitas espécies de animais de procedência amazônica em remanescentes úmidos de um outrora vasto *continuum* formado de “anastomoses e coalescências de diversos tipos de formações florestais”, entre elas a caatinga, permitiram o trânsito entre a Amazônia e o Nordeste, tanto pela costa como pelo interior. Para Ab´Saber (1977) e Vanzolini (1981) esse corredor biótico teria ocorrido há poucos milênios, em época pós-glacial em fases climáticas mais úmidas que atualmente, ideia corroborada por Coimbra-Filho & Câmara (1996) que sugerem que essa conexão entre esses ecossistemas existiu até tempos históricos e que teve fim com a devastação trazida pelos europeus a partir do século 16. Contudo dois pontos cruciais para o entendimento das relações paleoclimáticas, paleobiogeográficas e paleontológicas entre esses grandes ecossistemas brasileiros carecem de análises que estabeleçam com precisão a época de troca biótica e como os dados palinológicos se relacionam com os dados sobre a fauna, especialmente aquela dominada por grandes mamíferos do Pleistoceno. A hipótese central, a ser discutida nesta apresentação estabelece que vários fluxos genéticos ocorreram entre a Amazônia, Floresta Atlântica e Caatinga desde o período conhecido como Último Máximo Glacial (UGM), cerca de 20.000 anos antes do Presente (AP), que no hemisfério norte e nas grandes altitudes do hemisfério sul, é identificado por expansão de geleiras e declínio generalizado da temperatura. Durante a fase glacial, um palimpsesto de corredores, sobrepostos no tempo e no espaço, pode ter se estendido pelos últimos 100.000 anos, correspondente ao último grande ciclo glacial da Terra.

Algumas evidências, que apoiam esta hipótese, vêm principalmente de análises palinológicas de sedimentos quaternários, de estudos paleobotânicos, paleontológicos e geoquímicos realizados no Nordeste brasileiro.

Dentre as análises palinológicas destacam-se aquelas que englobam os últimos 40.000 anos da história da floresta amazônica da região do Parque Nacional Pico da Neblina e que mostram du-

rante o UGM a presença contínua de cobertura florestal em condições climáticas úmidas e mais frias do que atualmente (Colinvaux *et al.* 1996; Colinvaux *et al.* 2000). Esses estudos sugerem expansão florestal amazônica que envolveu táxons que hoje são encontrados de forma relictual em florestas brejosas de altitude dentro do domínio climático semi-árido de certas regiões do Nordeste brasileiro. Paralelamente a essa evidência, análises palinológicas, realizadas por De Oliveira *et al.* (1999) em sedimentos turfosos do Vale do Rio Icatu, no médio curso do Rio São Francisco e inserido no campo de dunas fósseis entre os municípios de Barra e Pilão Arcado (BA) trazem fortes subsídios à hipótese de formação de corredores florestais que conectaram a Amazônia a regiões atualmente pertencentes ao domínio climático semi-árido do Nordeste, durante a transição Pleistoceno/Holoceno. Esses dados mostram que no último milênio do Pleistoceno, o cenário climático e vegetacional local era totalmente oposto ao paradigma climático de aridez proposto sustentado por Ab'Saber (1982), pois a grande concentração de pólen de florestas amazônicas e atlânticas encontrada nos sedimentos analisados sugerem condições muito úmidas e mais frias do que as atuais. Dessa forma o espectro microfossilífero encontrado no final do Pleistoceno na caatinga baiana contradiz as interpretações paleoambientais até então disponíveis e dois anos após essa descoberta, outra publicação, desta vez relacionada à análise de travertino e outros espeleotemas (Auler & Smart 2001), coletados em área próxima ao do estudo palinológico e datadas pelo método do  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ , não só comprovou a existência de paleoclima muito úmido no final do Pleistoceno como também estendeu essa interpretação para todo o intervalo de tempo do último ciclo glacial da atual região semi-árida atual.

Adicionalmente, a interpretação sobre a ocorrência de fases úmidas durante o Quaternário da caatinga ganhou ainda mais força com os estudos de outros espeleotemas analisados por Wang *et al.* (2004), que apoiaram a indicação de fases úmidas durante o último ciclo glacial e por dados paleobotânicos de flora pleistocênica (Cristalli 2006), que também sugerem a presença pontual de floresta com alguns elementos típicos da Amazônia, da Floresta Atlântica e Floresta Semidecídua, indicando portanto um evento de troca biótica, hipótese primeiramente sugerida pela análise palinológica de De Oliveira *et al.* (1999).

Durante a apresentação será dada ênfase aos registros palinológicos da região Sudeste e do Nordeste do Brasil que evidenciam a chegada de elementos amazônicos à flora da caatinga durante o Quaternário Tardio.

## Referências

- Ab'Saber, A.N. 1977. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul. Primeira aproximação. **Geomorfologia**, USP. Instituto de Geografia, São Paulo.
- Ab'Saber, A.N. 1982. The paleoclimate and paleoecology of Brazilian Amazonia. In: Prance, G. T. (ed.). **Biological diversification in the tropics**. Columbia University Press, New York.
- Andrade-Lima, D. 1953. Notas sobre a dispersão de algumas espécies vegetais no Brasil. *Anais Sociedade. Biológica de Pernambuco* 11(1): 25-49.
- Andrade-Lima, D. 1977. Preservation of the flora of Northeastern Brasil: In: G.T. Prance & T. S. Elias (eds.). **Extinction is forever**. The New York Botanical Garden, New York.
- Andrade-Lima, D. 1982. Dry forest refuges in neotropical Brazil. In: Prance, G.T. (Ed.), **Biological Diversification in the Tropics**. Columbia Univ. Press, New York.
- Auler, A.S. & Smart, P.L. 2001. Late Quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertines and water-table speleothems. **Quaternary Research** 55(2): 159-167.
- Coimbra Filho, A.F. & Câmara, I.G. 1996. Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil. **Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN)**, Rio de Janeiro.

- Colinvaux, P.A.; De Oliveira, P.E.; Moreno, J.E.; Miller, M.C. & Bush, M. 1996. A long pollen record from lowland amazonia: **Forest and colling in glacial times**. **274**: 85-88.
- Colinvaux, P.A.; De Oliveira, P.E. & Bush M.B. 2000. Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: The failure of the aridity and refuge hypotheses. **Quaternary Science Reviews** **19**: 141-169.
- Cristalli, P.S. 2006. Macrofitofósseis em tufos calcários quaternários do norte da Bahia como indicadores paleoclimáticos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 195p.
- De Oliveira, P.E., Barreto, A.M.F., Suguio, K. 1999. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **152**: 319-337.
- Ducke, A. 1953. As leguminosas de Pernambuco e Paraíba. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**. **51**(4): 417-461.
- Ducke, A. & Black, G.A. 1954. Notas sobre a a fitogeografia da Amazônia Brasileira. **Boletim Tecnológico do Instituto Agrônômico do Norte** **29**: 3-62.
- Figueiredo, M.A.; Araujo, F.S. de & Pinto, F.C. 1991. Manchas de cerrado no litoral sul do Ceará. In: **Resumos...** XLII Congresso Nacional de Botânica. Goiania. UFGO.
- Rizzini, C.T. 1963. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica (florístico-sociológica) do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia** **25**(1): 3-64.
- Rizzini, C.T. 1967. Delimitação, caracterização e relações da flora silvestre hileiana. Atlas Simp. **Biota Amazônica** **4** (Botânica): 13-36.
- Rizzini, C.T. & Mattos Filho, A. 1992. Contribuição ao conhecimento das floras do nordeste de Minas Gerais e da Bahia Mediterrânea. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Serie Estudos e Contribuições** **9**. Rio de Janeiro 95p.
- Vanzolini, P.E. 1981. The Scientific and Political Contexts of the Bavarian Expedition to Brasil. Introduction. In: K. Adler (ed.). **Herpetology of Brazil**. Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Wang, X.; Auler, A.S.; Edwards, R.L.; Cheng, H.; Cristalli, P. S.; Smart, P.L.; Richards, D.A. & Shen, C.C. 2004. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210kyr linked to distant climate anomalies. **Nature** **432**: 740-743.

# ARQUEOPALINOLOGÍA EN AMÉRICA DEL SUR

**Luis Huamán**

Universidad Peruana Cayetano Heredia, Laboratorio de Palinología y Paleobotánica, Lima, Perú.

[luis.huaman@upch.pe](mailto:luis.huaman@upch.pe)

La palinología aplicada a la arqueología o arqueopalinología es una disciplina que tiene como finalidad es responder la pregunta: ¿Cómo era el entorno en que habitó el antiguo poblador de una determinada localidad cuando existía el grupo social al que pertenecía. En América del Sur, donde los grupos sociales que la habitaron, no desarrollaron escritura, las evidencias del entorno y del uso de sus recursos se encuentran en los ambientes del pasado, encerrados en el suelo o en adheridos a las herramientas o vestimentas que utilizaron. Dadas las características de la esporodermis del polen y las esporas, estos microrestos pueden permanecer encapsulados por cientos o miles de años, conservando las características que los distinguen y que nos proveen de datos sobre la composición de la flora.

El objetivo principal de la investigación arqueológica es la reconstrucción y explicación de los mecanismos y dirección que han llevado a los grupos humanos a cambios en un periodo determinado de tiempo (Bryant & Holloway 1983), aún con las complicaciones metodológicas de sus primeras épocas (Hevly 1981), el desarrollo tecnológico de los instrumentos y bases de datos permite mejores aproximaciones a los hábitos culturales y formas de vida de las culturas antiguas (Bryant & Holloway 1996), además, del análisis de los sedimentos, se encuentran también los análisis de las dietas mediante los registros palinológicos de los coprolitos Reinhardt & Bryant (1992) y Sobolik (1996).

De las dos fuentes probables de obtención de polen en los sitios arqueológicos: la lluvia polínica y la actividad humana (Pearsall 1989), estas últimas son importantes para entender el uso de los recursos, pero las primeras nos indican también datos importantes del entorno.

La arqueopalinología, no puede desvincularse de la paleopalinología del cuaternario, ya que es para cualquier estudio arqueológico es sumamente importante responder a la pregunta: ¿cómo era el ambiente en que desarrollaron sus actividades los pobladores de la región y período que se está estudiando?, ¿cómo era el ambiente que vieron los primeros habitantes de este continente?, ¿qué tanto cambió el ambiente natural a consecuencia de la presencia humana?; por ello es fundamental tener el conocimiento del cuaternario sudamericano, aún más allá del límite que representa la última glaciación, hace 11,000 años B.P. El conocer las características básicas del entorno prístino, nos permite conocer en el transcurso del tiempo como la especie humana, ha moldeado y ha hecho uso de sus principales recursos naturales, modificándolos para su mejor utilidad, cambiando de esta manera al entorno.

Los granos de polen se conservan en ambientes ácidos como los sedimentos lacustres, los que al pasar los años los encierran. Los arqueólogos y palinólogos extraen, los sedimentos, según la o las preguntas que desean responder, las cuales pueden pertenecer a pisos, o niveles estratigráficos que indicarán la variación de los taxa en un rango temporal determinado. También se pueden obtener pólenes de herramientas líticas o cerámicas de arcilla, de textiles. Un tipo de material rico en microrestos, son los llamados coprolitos, los que constituyen restos de del alimento que ha pasado por el tracto digestivo, lugares menos frecuentes de donde se pueden encontrar restos de alimentos, son el sarro dental y el sedimento adherido a los huesos de la cintura pélvica.

Las muestras deben ser obtenidas, evitando la contaminación, por lo se requiere de una serie de controles que permitan aislar convenientemente la muestra para de ser trasladada al laboratorio de palinología, donde se realiza la recuperación del polen a partir de pequeñas muestras de sedimento, que ingresa a la sala de procesamiento donde se extrae un pequeño volumen de sedimento o se lavan los artefactos. Para la separación del polen del sedimento se deben realizar una serie de digestiones ácidas de carbonatos y silicatos, para proceder a la separación gravimétrica del polen, para finalmente llevar los pólenes recuperados a la sala de observación microscópica para obtener datos cualitativos y cuantitativos, de frecuencias relativas por muestra. Estos datos deben ser muy bien analizados conociendo la cantidad de polen producido por cada especie; así también el tipo de polinización. Para la visualización de la información se utilizan los programas informáticos tiliograph o C2.

Sudamérica como fuente de información en cuanto a registros palinológicos en sitios arqueológicos, ha sido medianamente estudiada, habiéndose desarrollado a la fecha una lista de recursos que los microrestos pueden identificar, tales como: maíz, frijoles y calabazas (Piperno 1998; Colehour 2009). Lo cierto es que existen una gran cantidad de reportes de proyectos que no han sido publicadas en revistas científicas, por lo que es incierto el número total de investigaciones arqueopalinológicas.

En América del Sur, no existen registros documentales previos a la incursión de los españoles a mediados del siglo XVI. El conocimiento de las civilizaciones prehispánicas de la región proviene en gran parte de las excavaciones arqueológicas. Sin embargo, los sedimentos como cápsulas de tiempo, registran la presencia de microrestos (polen, fitolitos, almidones) que nos permiten conocer los cambios ambientales del límite Pleistoceno/Holoceno y la pequeña era del Hielo, así como las prácticas de quemas y el momento del inicio de la agricultura (Piperno 1998).

Los primeros estudios en palinología del cuaternario, se realizan en Sudamérica desde hace mucho tiempo, los registros más antiguos corresponden a L. von Post y V. Auver ambos en 1929, según los registran Archangelsky (1968), en sus revisiones bibliográficas.

A inicios de la década de 1980, los estudios palinológicos de cuaternario se centran en sistemática y taxonomía, basados en la aplicación en la bioestratigrafía, a fin de permitir un conocimiento general de la fitogeografía de histórica de Sudamérica (en especial en el Sur y Este del continente). Archila (2008), muy acertadamente indica que *“los estudios de polen no solamente han servido para reconstruir los ecosistemas del pasado, sino que han sido usados para inferir el tipo de interrelaciones ocurridas en el pasado entre humanos y recursos vegetales”*.

## Argentina

Auer (1958), amplía las investigaciones iniciales de palinología del cuaternario confirmando que al sur del continente ocurre la expansión del Bosque de *Nothofagus*, sobre los actuales territorios ocupados por la Estepa Fría de la Patagonia Este, lo cual es la consecuencia más relevante de los avances glaciales pleistocénicos. Estos estudios fueron confirmados posteriormente por Markgraf (1985), confirmando el paralelismo glacial entre los dos hemisferios hasta los 15,000 b.p, quien también propone un cambio desde las estepas hacia los 10,000 B.P. , lo cual, trajo como consecuencia la disminución de la fauna pleistocénica, caracterizado por el gran perezosos terrestres, el que finalmente debió desaparecer por la presión de la presencia del paleoindio; este registro es sumamente importante debido a que relaciona un estudio palinológico con la presencia de un grupo humano.

Medina *et al.* (2008), analiza las implicancias del estudio palinológico como herramienta arqueológica en el estudio prehispánico tardío argentino en las sierras de Córdoba, donde encuentra patrones de presencia vegetal en los 4 sitios analizados, infiere paleo-comunidades vegetales dominadas por Chenopodiaceae-Amaranthaceae y Brassicace, así como también analizadas como indicativos de sucesivos abandonos y reocupaciones de los sitios, coherentes con un patrón de alta movilidad



residencial entre los grupos prehispánicos tardíos, lo que se habría generado por actividad antrópica.

Hector D'Antoni (2008), desarrollo el manual "Arqueoecología", texto que conduce al lector por el mundo del polen, la palinología, su aplicación a la arqueología y cómo esta se encuentra con la ecología. Grill & Lamberto (2010), en sus trabajo de análisis palinofacial, de la cuenca del río Quesquén Salado, determinan que la última etapa (La Palinofacies 6 ó llanura aluvial) registró escasa proporción de granos de polen, asociada a un considerable deterioro del material, relacionada por la acción antrópica (por cultivo y forestación).

Tosto *et al.* (2012) analizan coprolitos a fin de determinar el contenido de polen y de microrestos vegetales de un coprolito humano del sitio CCP7 relacionado a una capa arqueológica fechada en 8920±200 C14 años BP. El sitio CCP7 está ubicado en la provincia de Santa Cruz (Argentina) en el ecotono bosque-estepa. Se realizaron los análisis polínicos e histológicos de los restos vegetales del coprolito. Se identificaron 13 tipos polínicos, tres de ellos pertenecientes a la vegetación del bosque y el resto a la estepa. Mediante el análisis histológico se identificaron las especies *Azorella monanthos*, *Empetrum rubrum* y *Gaultheria mucronata*. El análisis simultáneo de la información extraída de los datos palinológicos y de los histológicos mostró coincidencias parciales entre el contenido de polen y de restos vegetales.

## Chile

Posteriormente Heusser (1966) realiza los estudios en la región de Los Lagos hacía el Pacífico chileno (1966) hasta la formación post-glacial del Bosque Lluvioso Valdiviano. El cuaternario hacía más al norte chileno nos indica la presencia de bosques de las palmeras terciarias de *Jubea spectabilis*, y de islas de *Notofagus obliqua*. Heusser realiza en el marco del proyecto Monteverde, y concluye: "El clima de hoy, húmedo en invierno y seco en verano, soporta una amplia vegetación esclerófila que se desarrolló durante el Holoceno, con la llegada de los paleo-indios y la extinción de mastodonte y caballo".

Arbazúa *et al.* (2004), en sus estudios realizados en la Isla Grande de Chiloé, indica que un cambio en la vegetación dominada por *Weinmannia trichosperma* y *Pseudopanax laetevirens* expandieron rápidamente entre 700 y 400 años BP, lo que puede representar perturbaciones humanas locales desde tiempos prehispánicos. Estos estudios relacionan los aspectos biogeográficos que desde la década de 1980 Carolina Villagrán estudió a profundidad para el cuaternario del sur chileno. (Villagrán 1985, 1991, 1993, 2001). Los estudios palinológicos en la Isla de Pascua (Prebble & Anderson 2012), indica la disminución de *Pandanus* y el incremento de posibles cultivos de *Colocasia*, esta deforestación está registrada en los trabajo de Flenley & King (1984) y Flenley *et al.* (1991).

Distribuciones fitogeográficas basadas en datos palinológicos han sido presentadas por Villagrán (1990), para Chiloé y por Heusser (1983).

El impacto del ser humano en la biota chilena ha quedado registrado en los estudios palinológicos de Villa-Martínez *et al.* (2003) y Villa-Martínez y Moreno (2007), deduciendo que las variaciones se deben a quemas extensivas y la incursión europea.

Hacia el Norte, el ambiente central chileno, también durante el cuaternario, registradas sucesiones de períodos frescos y más que lluviosos hasta periodos menos frescos y secos, similares al actual. El efecto de predominio, de Ochsenius indica que las fases húmedas son el resultado del glaciario de las cumbres. Llegando a las actuales zonas áridas de Atacama, que es post-glacial. Nos indican que la paleoflora de las alturas Atacameñas, fueron sabanas xeromórficas, donde predominan los *Prosopis*, *Schinus molle*, *Acacia macracantha*, entre otros; mientras que en la costa por la influencia de la corriente de Humboldt donde ya se marcaba una aridez holocénica, debido a la pérdida de napa freática que sólo se vería interrumpida en sus elevaciones donde se forman las Lomas, que han de prolongarse hacía el desierto peruano.

El llamado “silencio arqueológico” para la zona norte de Chile, tiene una explicación lógica mediante análisis palinológicos, (Grosjean *et al.* 2001, 2003), estos estudios han sido considerados para profundizar en las características de sequedad de este ambiente lo que explicaría la falta de datos arqueológicos de la zona. El norte de Chile y los Chinchorro, ha sido especialmente estudiado arqueológicamente, de esta manera se ha hecho uso de la palinología, Arriaza *et al.* (2001). Hacia el centro del país Rojas *et al.* (2004) ha realizado arqueopalinología en las cavernas Piuquenes, lo mismo que Méndez & Jackson (2006) en la zona costera de los Vílos. Rojas (2004), también ha realizado investigaciones palinológicas en contextos arqueológicos en el Cerro Onas, Tres Arroyos de la Tierra del Fuego.

Holden y Nuñez (1993) describen que el análisis microscópico detallado de los contenidos estomacales de los cinco cuerpos humanos disecados bien conservados, fechados entre 540 aC y 600 dC, a partir de la quebrada de Tarapacá, en el norte de Chile encontrándose las semillas de *Chenopodium* sp., Vainas de *Prosopis* sp. y así como los órganos subterráneos de plantas de *Schoenoplectus* sp. Al norte del Perú, en el departamento de Piura, se han registrado para el final de la última glaciación la presencia de bosques semejantes al atacameño, al igual que en este terminaría siendo un desierto super-árido en el cuaternario, donde al igual que en Atacama, se presenta el desierto más extenso de la costa peruana.

Kurt Graf (1994), desarrolla un modelo paleoclimático, donde incluye períodos de presencia humana, hasta los 25,000 y 35,000 B.P, a fin de entender las variaciones ambientales en el cuaternario. El modelo de Graf es importante pues no se restringe a la zona norte de Chile, sino a toda la cordillera de los Andes.

## Perú

En el Perú se tienen importantes estudios paleopalínológicos del cuaternario en el Lago de Junin y Laguna Baja y Graf (1981, 1989), en la frontera de Perú y Bolivia. Así mismo, hacia la vertiente occidental de los Andes, Herreros *et al.* (2009) y Kuentz *et al.* (2007), desarrolla modelos fitogeográficos para el sur del Perú, este último trabajo permiten entender el depósito de polen en el suelo y discute los resultados palinológicos del cuaternario, tal como Van der Hammen lo desarrolló para Colombia. De estos estudios de base surgen aquellos que atribuyen cambios en los registros paleopalínológicos a la presencia del ser humano (Kuentz *et al.* 2011; Thompson *et al.*, 1988; Thompson *et al.* 1995), como el que se le atribuye la presencia de polvo en los testigos de hielo del Nevado Quelcaya por desarrollo de las terrazas cultivadas en el Altiplano (Erickson 2000) o por la inclusión de taxa como Chenopodiaceae / Amaranthaceae y granos de polen de maíz, cerca de Cusco alrededor de 920 AdC (Chepstow-Lusty *et al.* 2009).

En la vertiente oriental de los Andes (del Perú y Ecuador), Weng *et al.* (2006) indican que concluye la Glaciación por los 10.000 años B.P., durante el primer período cálido y seco del Holoceno entre 10,000 y 5,500 años B.P., *Alnus* se expandió en los bosques de ladera descendentes, para después disminuir en abundancia en el 5,500 B.P. cuando las condiciones húmedas y frías regresaron y la actividad humana se intensificó; el polen de maíz (*Zea mays*) se presenta por primera vez en el núcleo de 2600 años B.P., lo que indica una edad inicial para la agricultura local. Walker (2011) determina el uso de canales y mesetas para la agricultura del sudoeste amazónico.

Moore (1998) propone mediante el estudio paleopalínológico realizado en la zona del Cuzco, por Chepstow-Lusty *et al.* (1998), que los Incas, al expandirse degradaron grandes extensiones de bosques naturales para cultivar pastizales de esta manera el Aliso (*Alnus acuminata*), puede apoderarse de los suelos degradados.

Reese (2003) explica en su trabajo palinológico que la aparición de pastizales puede ser explicada por perturbación humana. Cuando el polen de los pastos son excesivamente representados,

en el estudio de una zona tropical, representa deforestación, ya que las primeras colonizadoras en la sucesión, serán los pastos (Colinvaux *et al.* 1988). Bush *et al.* (2004), en el estudio palinológico del Lago consuelo, también hace mención a la presión humana sobre el cambio del entorno junto con otros factores ambientales.

Uno de los primeros trabajos palinológicos realizados en material arqueológico, es el de Van der Hammen & Noldus (1985) infieren que los bordes rocosos del sitio de Telarmachay (Junin), estuvieron bajo el hielo, a los 8,000 B.P., desarrollando un ambiente con más hierbas hasta una zona sub-nival, donde predominan los pastos, cuya presencia se infiere sobretodo por influencia humana.

Geyer *et al.* (2003), realiza una investigación palinológica en coprolitos hallados en el sitio Arqueológico Dos Cabezas al norte del Perú, (cultura Moche, 2,000 años B.P.). A partir de los resultados de este trabajo, Reinhard *et al.* (2007), hacen una reinterpretación de los hallazgos. Los resultados de esta discusión constituyen para la palinología aplicada a la arqueología un modelo aplicativo o algoritmo de los pasos a seguir para evitar errores en la interpretación.

Bonavia (1982), publica su obra en Los Gavilanes, sitio en el valle de Huarmey (Ancash), con registro desde el pre-cerámico peruano; en este libro se presenta una descripción detallada de imágenes SEM de granos de polen de maíz del periodo pre-cerámico. Weir & Bonavia (1985), realizan un análisis completo de 64 coprolitos de este sitio arqueológico, destacando la presencia del maíz a los 3,000 años A.d.C. Posteriormente, Jones y Bonavia (1992), realizan el análisis de coprolitos de llama, del mismo sitio arqueológico se presentan 23 taxa diferentes, reafirmando que el maíz fue un componente importante de la dieta, luego de esto se realizan más trabajos palinológicos confirmando los hallazgos realizados (Bonavia *et al.* 1993; Bonavia *et al.* 2009).

Bonavia (2008), culmina su trabajo entorno al maíz, con una obra crítica, donde discute las teorías de origen, basándose en evidencias botánicas y arqueológicas, entre ellas un tratamiento minucioso sobre las evidencias que aceptan el origen del maíz. La palinología tiene un rol importante en la discusión.

En el periodo entre los 5000-1800 años a.d.C. en los valles de Chilca, Otuma y Chancay, se ha realizado por parte de Weir *et al.* (1988), la reconstrucción de la dieta de los habitantes de esta región de la costa central del Perú.

León (2013), ha hecho un recuento de los principales recursos naturales en registro arqueológico, dentro de este estudio ha considerado 4 evidencias palinológicas vegetales, respecto a la presencia del maíz, del tipo Cheno-Am, el Huarango y el Ají.

Haas *et al.* (2013). Se ha realizado un estudio completo de microrestos (polen, fitolitos y almidones) de la zona arqueológica denominada Norte Chico (valles de Huaura, Fortaleza y Pativilca), encontrando diversos recursos, entre los que sobresalen la presencia del maíz en sedimentos, artefactos y coprolitos, desde épocas fechadas desde 7,000 B.P. Una versión preliminar del trabajo palinológico se puede encontrar en Huamán *et al.* (2005). Así también, se han realizado diversos trabajos palinológicos en sitios arqueológicos, como los realizados en el sitio arqueológico San Juan de Parichi (Huamán 2010), y del Cerro Lampay (Vega-Centeno & Huamán 2009), donde se registran la presencia de diversos vegetales de la costa peruana pre-hispánica.

## Bolivia

Thompson *et al.* (1988), presentan un registro de 1500 años de las concentraciones de partículas y de conductividad en estos núcleos muestra dos grandes episodios de polvo, con una duración de 130 años, esto se relaciona con los cambios anuales en los niveles de agua del Lago Titicaca y con la precipitación anual en El Alto (La Paz, Bolivia). Reese (2003) muestra que el polen, es un componen-

te regular de los núcleos de hielo tropicales, se ha demostrado que tienen un gran potencial como proxy paleoambiental sensible en la investigación con núcleo de hielo. En este estudio, se recogieron 11 muestras de nieve de superficie alrededor del borde de la caldera en la cumbre del monte. Parinacota en la frontera boliviano-chilena. Los resultados muestran que la concentración de polen y el montaje son uniformes en muestras tomadas del cuadrante suroeste y toda la mitad oriental de la montaña. Burbridge *et al.* (2004) en un estudio paleopalinológico desde 50,000 años B.P, incluye en las descripciones Holocénicas aspectos que pueden explicar la influencia humana sobre los cambios ambientales, así como su movilización.

Datos importantes para su aplicación en la arqueopalinología son los registros fitogeográficos de polen por regiones bolivianas (Ortuño *et al.* 2011 y Jones *et al.* 2011)

En Erickson (1995), se registra la presencia de polen de *Xanthosoma*, *Bixa e Ilex*, en el sitio arqueológico Llanos de Mojos en la amazonia boliviana, su artículo presenta de manera explícita los métodos utilizados, entre ellos la palinología. Así mismo, Whitney *et al.* (2012), presenta primero un método de obtención de polen de maíz a partir de sedimentos lacustres; dos años después, realiza estudios palinológicos paleoecológico relacionando el impacto de la construcción de campos altos sobre la vegetación del sitio El Cerro de la selva boliviana desde 310 A.d.C.

Hastorf *et al.* (1997), presenta los resultados del trabajo de campo del sitio Taraco, donde mencionan han colectado muestras para el análisis palinológico y de fitolitos.

## Ecuador

Heusser & Shackleton (1994) ha analizado los sedimentos marinos registrando el polen de la vegetación ecuatorial andina, sus datos más relevantes indican un desarrollo moderado-alto de *Podocarpus* bosque pluvial montano (34,000-28,000 años AP) y el aumento de la polen pastizal Andino (28,000-16,000 años AP), caracterizando al periodo interglacial por la rápida expansión gradual de los bosques costeros y de los bosques de montaña. Colinvaux *et al.* (1988), registra polenes obtenidos de testigos de sedimento de la zona oeste de la amazonia ecuatoriana, el polen de 1300-800 años B.P, encontrándose registro de perturbación desde los 800 años al presente. Se sugiere que la heterogeneidad del bosque, en lugar del postulado de refugios antiguos, da cuenta de las distribuciones de biota amazónica. Thompson *et al.* (1998), los estudios realizados en los páramos y sabanas de Ecuador, Colombia y Venezuela, especialmente por Colinvaux, Van der Hammen, han trazado las líneas de desarrollo de profundo conocimiento de ambientes cuaternarios a partir del análisis palinológico de sedimentos.

Moscol (2010), en la localidad de Reserva Biológica Guandera al norte del Ecuador, relaciona el retroceso de la upper forest line (UFL) ó línea de árboles, con actividades antropogénicas, sobre todo en los últimos 520 B.P. Este límite superior arbórea pasó de 3,600 msnm a 3700 msnm, contribuyendo con actividades agrícolas y forestales inadecuadas con la deforestación de las especies nativas (*Hedyosmum*, *Weinmannia*, *Melastomataceae*, *Ilex*, *Scrophulariaceae* y *Symplocos*). El indicador de la deforestación viene a ser la presencia de *Rumex*, lo cual también fue registrado por Wille *et al.* (2002), en Pantano de Pecho a 3,870 msnm en los páramos Ecuatorianos.

Stoother *et al.* (2003), basándose en Markgraf (1993) indica que los seres humanos que llegaron al sitio de Las Vegas, pudieron haber sido testigo de los intervalos de "la falta de humedad" que comienza tan temprano como 8000 BP y continuando después de 6000 BP. En otras palabras, en América del Sur después de 8500 años BP puede haber habido un aumento en los "períodos secos estacionales", pasando por etapas de adaptación hasta la preadaptación a la agricultura. Bush & Collinvaux (1988), indican que en las vertientes orientales bajas se sugiere que el maíz fue cultivada en sedimentos lacustres expuestos en momentos de bajos niveles de agua. El abandono del cultivo de *zea* puede haberse debido al aumento del nivel de agua o el malestar social. Archila (2008), compila la

información palinológica de Bush *et al.* (1989), Pearsall (1994), Piperno y Pearsall (1998), e indica que en columnas de sedimentos tomadas en el lago Ayauchi de la Amazonía ecuatoriana se encontraron fitolitos y polen de maíz que se fecharon en 5300 años BP y 2400 años BP.

## Colombia

Sonia Archila (2005), indica que el estudio y la investigación arqueobotánica en el área más amplia de las tierras bajas tropicales de América se ha enfocado principalmente en la reconstrucción de los patrones humanos de subsistencia del pasado, basándose en el estudio de microrestos (polen y fitolitos) como de macrorestos, reconstruir patrones antiguos de producción de alimentos (Piperno & Pearsall 1998).

En cuanto a los estudios palinológicos del cuaternario Colombia es el país que más trabajos ha realizado. Thomas Van der Hammen (+) y luego Henry Hooghiemstra, así como otros investigadores latinoamericanos y europeos de la Universidad de Amsterdam, han desarrollado una enorme cantidad de publicaciones sobre el último período glacial y el Holoceno de Colombia, que Van der Hammen y Hooghiemstra como editores ha compilado en la serie *The Quaternary of Colombia* desde 1973 en 31 volúmenes, a esto hay que sumarle los artículos que se han publicado al respecto desde la llegada de Van der Hammen a Colombia allá por 1951, y las tesis doctorales que han dirigido.

Los perfiles fitogeográficos de zonificación de Colombia han sido desarrollados por Van der Hammen (1974), Cleff (1981) y Hooghiemstra (1984).

Van der Hammen & Correal (1978), determinan mediante datos palinológicos así como arqueozoológicos y paleoecológicos, que el ingreso del hombre pre-histórico, se realizó al iniciarse el Tardiglacial, durante el estadal El Abra (11,000-10,000 B.P.), la altiplanicie se hallaba cerca del límite del bosque y era cubierta con una vegetación arbustiva de sub-páramo con áreas abiertas con praderas de páramos. La presencia humana disminuye entre los 5,000 y 3,000 B.P., registrándose los primeros registros de agricultura después de los 2,500 B.P. Kuhry (1988a y 1988b), realiza estudios conducentes a analizar los sedimentos cuaternarios de la cordillera oriental colombiana, mostrando en sus últimas fases, las condiciones que explican el comportamiento humano en esta región, así como la línea de árboles se han desplazado a niveles superiores, permitiéndole al ser humano conquistar nuevos ambientes. Berrio *et al.* (2000), indican por su parte, que factores abióticos causaron cambios en el sistema de drenaje y que la presencia de asentamientos humanos durante los últimos 1,000 años se evidencia por maíz y posiblemente también por el aumento de las palmas, en el registro palinológico.

Archila (2008), indica que el maíz estuvo disponible hacia el 5,000 BP., en el sitio arqueológico del Amazonas colombiano denominado Abeja, se encontró polen de maíz y se fechó en 4645±40 años, al igual que en el sitio arqueológico llamado Aeropuerto (fechado en 790 AD).

## Guyana, Surinam y Venezuela

Van der Hammen (1961, 1963, 1974), Wijmstra & Van der Hammen (1967), Van der Hammen & Absy (1994) ha estudiado varios perfiles palinológicos sobre las características de esta zona durante el cuaternario, ya sea en estudios puntuales o en el marco de grandes investigaciones de la Amazonía. Mostrando características florísticas de la zona con alternancia de especies herbáceas con arborescentes de carácter sabánico. El estudio de Leal *et al.* (2011), presenta descripciones y microfotografías de los granos de polen de 245 especies de angiospermas se encuentran comúnmente en las comunidades de plantas contemporáneas de las sabanas de las tierras altas de Guayana y Venezuela.

En Surinam, Wijmstra (1969, 1971), muestran la distribución vegetal de su costa actual, caracterizada por la sabanas herbáceas y sabanas arbóreas (*Byrsonima*) (Ochsenius, sic.). Respecto a la aplicación de la palinología aplicada a la arqueología por parte de Laeyendecker- Roosenberg al nor-oeste de Surinam.

Para Venezuela, los estudios palinológicos del cuaternario de este país registra los trabajos de Salgado-Labouriau *et al.* (1977), Bradbury *et al.* (1981), Leyden (1985), Rull *et al.* (2005). Siendo el último el realizado por Leal *et al.* (2011), Se presenta el análisis palinológico de un registro sedimentario de los Llanos de Venezuela, que resume la historia de la vegetación y el fuego durante los últimos 2220 años B.P., es importante para datos arqueológicos que entre 1100 y 320 años BP, el descenso en la abundancia de *Mauritia flexuosa* los que sugiere el desarrollo de una laguna somera, con incendios locales menos frecuentes. Posteriormente a 320 años BP el aumento de polen de *Mauritia* indica la reducción de la lámina de agua y el desarrollo de un pantano que favoreció el establecimiento de un morichal denso-mixto con abundantes elementos de bosque (*Schefflera*, *Moraceae/Urticaceae*, *Virolay* *Myrtaceae*). Finalmente recomienda conocer el alcance local o regional de los cambios observados, a consecuencia antropogénica.

## Brasil

Para el cuaternario amazónico del Brasil, comenzaremos por mencionar Salgado-Labouriau (1961), con sus publicaciones en la región de los cerrados del Planalto central brasilero y sus propuestas metodológicas en la reconstrucción de ambientes antiguos a partir de los granos de polen. A partir de sus aportes vinieron otros investigadores inspirados por este entusiasmo de conocer los ambientes cuaternarios y generar floras palinológicas como lo hizo ella aún fuera de las fronteras brasileiras.

Una investigadora importante en cuanto a la palinología del cuaternario brasilero es Absy (1979), quien realiza interpretaciones que complementa luego en conjunto con Van der Hammen (van der Hammen & Absy 1994), llegando a la conclusión que durante el Holoceno, se produjeron cambios de precipitación y que resulta en períodos de extensas y frecuentes inundaciones fluviales, alternando con períodos más secos, presentándose inundaciones reducidas, mencionando también que estos cambios pueden haber influido en los asentamientos ribereños humanos y sus migraciones. Así mismo, el estudio más completo de la época glacial es el que realizaron Colinvaux de Oliveira & Bush (2000), llegando a la conclusión que la amazonia fue boscosa durante la época glacial refutando la hipótesis de una amazonia árida, propuesto por el mismo Colinvaux (1989) con anterioridad.

Haberle (1997) realiza una reconstrucción paleoambiental del cuaternario a lo largo de la cuenca amazónica, para luego comparar los resultados con su equipo en el estudio del ODP 932<sup>a</sup> del Ocean Drilling Program, frente a las costas brasileiras, indicando que existe diferencia de vegetación en 3 etapas analizadas: 40,200-19,800 B.P. donde predominan core Alchornea, Melastomataceae, Myrtaceae y Moraceae; luego entre los 19,800 y 11,000 existe predominio de taxa Andina como *Podocarpus* y *Hedyosmum*, y antes de los 40,200 B.P. (Haberle & Maslin 1999), lo cual ha sido replicado por los estudios de Behling *et al.* (2000), analizando el testigo MARINO core GeoB 3104-1.

Riccomini *et al.* (2005) hacen un análisis de las variaciones polínicas en sedimentos obtenidos en un cráter posiblemente realizado por un meteorito en Sao Paulo; estas variaciones indican que la floresta Atlantica no estuvo sujeta a cambios durante el cuaternario, y que ha mantenido su preservación desde la colonia en el siglo XVIII al presente, por los cuidados de los colonos, que se instalaron a su alrededor.

En relación a los estudios palinológicos relacionados con sitios arqueológicos directamente, Chaves (2001a), describe la metodología para la obtención de polen a partir de coprolitos; en base a ello hace una propuesta paleopalínológica con fines paleoetnobotánica (2000) en region central

brasileira y posteriormente con coprolitos en la Toca do Boqueirao do sitio do Pedra Furada (Piauí) de una edad aproximada de 8450±80BP; Chaves (2001a), estudio que profundiza en conjunto con Karl Reinhard en el 2003, donde se encontraron polenes de especies con registro medicinal, tales como *Sida* sp., *Adenantha macrocarpa*, *Cecropia* sp., *Croton* sp., *Mansoa hirsute*, entre otros, proponiendo de esta manera la sub-disciplina denominada Paleofarmacología. Es importante mencionar que Chaves también realiza material de divulgación sobre la utilidad del polen en los estudios de pre-históricos, Chaves (2001b)

Lima-Ribeiro & Barbieri (2005) hacen un análisis metodológico de la aplicación de la palinología en la arqueología, posteriormente, Lima-Ribeiro, Barbieri & Rubin (2003), de también, realizan estudios del cuaternario (32,000 B.P) y luego aplicaron lo propuesto en sus estudios anteriores en el sitio arqueológico de Abrangencia de UHE Guaporé/MT (Lima-Ribeiro & Barbieri 2003).

## Referencias

- Abarzúa, A.M.; Villagrán, C. & Moreno, P.I. 2004. Deglacial and postglacial climate history in east-central Isla Grande de Chiloé, southern Chile (43°S). **Quaternary Research** **62**(1): 49-59.
- Absy, M.L. 1979. **A palynological study of Holocene sediments in the Amazon basin**. Doctoral dissertation, Universiteit van Amsterdam.
- Arbazúa, A.M.; Villagrán, C. & Moreno, P.I. 2004. Deglacial and postglacial climate history in eastcentral Isla Grande de Chiloé, southern Chile (43°S). **Quaternary Research** **62**: 49-59.
- Archangelsky, S. 1968. Paleobotany and palynology in South America A historical review: **Review of Paleobotany and Palynology** **7**: 249-266.
- Archila, S. 2005. Arqueobotánica en la Amazonía Colombiana. **Un modelo etnográfico para el análisis de maderas**. FIAN-UNIANDÉS-CESO.
- Archila, S. 2008. Modelos teóricos y arqueobotánica en el noroeste de Suramérica. Arqueobotánica Y Teoría Arqueológica. Discusiones Desde Suramérica. Colombia Ediciones Uniandes 65-96.
- Arriaza, B.T.; Standen, V.G.; Belmonte, E.; Rosello, E.; & Nials, F. 2001. The peopling of the Arica coast during the preceramic: a preliminary view. **Chungará** (Arica) **33**(1): 31-36.
- Auer, V. 1958. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part. II: The history of the flora and vegetation. **Annales Academy of Science Fennicae**. **50**: 1-239.
- Behling, H.; W Arz, H.; Pätzold, J. & Wefer, G. 2000. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews** **19**(10): 981-994.
- Berrío, J.C.; Behling, H. & Hooghiemstra, H. 2000. Tropical rain-forest history from the Colombian Pacific area: a 4200-year pollen record from Laguna Jotaordó. **The Holocene** **10**(6): 749-756.
- Bonavia, D. 1982. Prececerámico peruano. **Los Gavilanes. Mar, Desierto y Oasis en la Historia del Hombre**. Corporación Financiera de Desarrollo SA COFIDE. Instituto Arqueológico Alemán. Lima.
- Bonavia, D. 2008. **El maíz: su origen, su domesticación y el rol que ha cumplido en el desarrollo de la cultura**. Universidad de San Martín de Porres, Fondo Editorial.
- Bonavia, D.; Grobman, A.; Johson-Kelly, J.G.; Ortega, Y.R.; Patrucco, R.; Alberto Pumayalla, D.; Reitz, E.J.; Tello, R. & Zavaleta, A.Z. 2009. Historia de un campamento del Horizonte Medio de Huarmey, Perú (PV35-4). **Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines** **38**(2), 237-287.
- Bonavia, D.; Jhonson, L.W.; Reitz, E.J.; Wing, E.S. & Weir, G.H. 1993. Un sitio prececerámico de Huarmey (PV35-6) antes de la introducción del maíz. **Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines** **22**(2): 409-442.
- Bradbury, J.P.; Leyden, B.; Salgado-Labouriau, M.; Lewis Jr, W.M.; Schubert, C.; Binford, M.W. & Weibezahn, F.H. 1981. Late quaternary environmental history of Lake Valencia, Venezuela. **Science** **214**(4527): 1299-1305

- Bryant Jr. V.M. & Holloway, R.G. 1996. Archaeological palynology. **Palynology: principles and applications 3**: 913-917.
- Bryant Jr. V.M. & Holloway, R.G. 1983. The role of palynology in archaeology. In. **Advances in archaeological method and theory 6**: 191-224.
- Burbridge, R.E.; Mayle, F.E. & Killeen, T.J. 2004. Fifty-thousand-year vegetation and climate history of Noel Kempff Mercado National Park, Bolivian Amazon. **Quaternary Research 61**(2), 215-230.
- Bush, M.B. & Colinvaux, P.A. 1988. A 7000-year pollen record from the Amazon lowlands, Ecuador. **Vegetatio 76**(3): 141-154.
- Bush, M.B.; Piperno, D.R. & Colinvaux, C. 1989. A 6000 year history of Amazonian maize cultivation. **Nature 340**: 303-305.
- Bush, M.B.; Silman, M.R. & Urrego, D.H. 2004. 48,000 years of climate and forest change in a biodiversity hot spot. **Science 303**: 827-829.
- Chaves, S.A.M. 2001a. Análise palinológica de coprolitos pré-históricos holocênicos coletados na Toca do Boqueirão do sítio da Pedra Furada. Contribuições paleoetnológicas, paleoclimatológicas e paleoambientais para a região sudeste do Piauí, Brasil. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia da USP 10**: 103-120..
- Chaves, S.A.M. 2001b. Pólen, paisagens e pré-história Americana. **Ciencia Hoje 168**: 57-59.
- Chepstow-Lusty, A.J.; Bennett, K.D.; Fjeldså, J.; Kendall, A.; Galiano, W. & Herrera, A. T. 1998. Tracing 4,000 years of environmental history in the Cuzco area, Peru, from the pollen record. **Mountain Research and Development 18**(2): 159-172.
- Chepstow-Lusty et al., 2009
- Cleef, A.M. 1981. Vegetation of the Páramos of the Colombian Cordillera Oriental. *Dissertationes Botanicae 61*, Cramer, Vaduz, Germany.
- Colehour, A.M. 2009. The Biogeography of Plant Domestication. **Macalester Reviews in Biogeography 1**(1): 1-26
- Colinvaux, P.A. 1989. Ice-age Amazon revisited. **Nature 340** (6230): 188-189.
- Colinvaux, P.A.; De Oliveira, P.E. & Bush, M.B. 2000. Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: the failure of the aridity and refuge hypotheses. **Quaternary Science Reviews 19**(1): 141-169.
- Colinvaux, P.A.; Frost, M.; Frost, I.; Liu, K.B. & Steinitz-Kannan, M. 1988. Three pollen diagrams of forest disturbance in the western Amazon basin. **Review of Palaeobotany and Palynology 55**(1): 73-81.
- D'Antoni, H.L. 2008. **Arqueoecología: Sistemica y Caótica**. CSIC-CSIC 41. Textos Universitarios. Barcelona.
- Erickson, C.L. 1995. Archaeological methods for the study of ancient landscapes of the Llanos de Mojos in the Bolivian Amazon. Cambridge University Press.
- Erickson, C.L. 2000. The Lake Titicaca Basin: A Pre-Columbian Built Landscape. In **Imperfect Balance: Landscape Transformations in the Precolumbian Americas**. David Lentz (Ed.). Columbia University Press, New York. pp. 311-356.
- Flenley, J.R. & King, S.M. 1984. Late quaternary pollen records from Easter Island. **Nature 307**: 47-50.
- Flenley, J. R.; King, A. S. M.; Jackson, J.; Chew, C.; Teller, J. T. & Prentice, M. E. 1991. The Late Quaternary vegetational and climatic history of Easter Island. **Journal of Quaternary Science 6**(2): 85-115.
- Geyer, P.S.; Larson, T.S. & Stroik, L. 2003. University of San Diego palynological investigation of the Dos Cabezas giants. **International Journal of Osteoarchaeology 13**(5): 275-282.
- Graf, K. 1981. Palynological investigations of two post-glacial peat bogs near the boundary of Bolivia and Peru. **Journal of Biogeography 8**: 353-368.
- Graf, K. 1989. Palinología del cuaternario reciente en los Andes del Ecuador, del Perú, y de Bolivia. **Boletín Servicio Geológico Bolivia 4**: 69-91.
- Graf, K. 1994. Discussion of palynological methods and paleoclimatical interpretations in northern Chile and the whole Andes. **Revista Chilena de Historia Natural 67**(40541): 5.
- Grill, S.C. & Lamberto, S. 2010. Análisis palinofacial de sedimentos actuales en la cuenca inferior del río Quequén Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina. Primeros resultados. **Revista Española de Micropaleontología 38**(1); 77-92.



- Grosjean, M.; Cartajena, I.; Geyh, M.A. & Núñez, L. 2003. From proxy data to paleoclimate interpretation: the mid-Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **194**(1): 247-258.
- Grosjean, M.; Van Leeuwen, J.F.N.; Van Der Knaap, W.O.; Geyh, M.A.; Ammann, B.; Tanner, W. & Veit, H. 2001. A 22,000← sup→ 14←/sup→ C year BP sediment and pollen record of climate change from Laguna Miscanti (23° S), northern Chile. **Global and Planetary Change** **28**(1): 35-51.
- Haas, J.; Creamer, W.; Huamán Mesía, L.; Goldstein, D.; Reinhard, K. & Vergel Rodríguez, C. 2013. Evidence for maize (*Zea mays*) in the Late Archaic (3000–1800 BC) in the Norte Chico region of Peru. **Proceedings of the National Academy of Sciences** **110**(13): 4945-4949.
- Haberle, S. 1997. Upper Quaternary vegetation and climate history of the Amazon basin: correlating marine and terrestrial pollen records. In: **Proceedings of the ocean drilling program, scientific results 155**: 381-396. College Station: Texas A & M University.
- Haberle, S.G. & Maslin, M.A. 1999. Late Quaternary vegetation and climate change in the Amazon basin based on a 50,000 year pollen record from the Amazon fan, ODP site 932. **Quaternary Research** **51**(1): 27-38.
- Hastorf, C.A.; Bandy, M.; Blom, D.; Dean, E.; Goodman, M.; Kojan, D. & Whitehead, W. 1997. Proyecto arqueológico Taraco: excavaciones de 1996 en Chiripa, Bolivia. **Archaeological Research Facility**. In: Inversidade da Califórnia.
- Herreros, J.; Moreno, I.; Taupin, J.D.; Ginot, P.; Patris, N.; Angelis, M.D., ... & Schotterer, U. 2009. Environmental records from temperate glacier ice on Nevado Coropuna saddle, southern Peru. **Advances in Geosciences** **22**(22): 27-34.
- Heusser, C.J. 1983. Quaternary pollen record from Laguna de Tagua Tagua, Chile. **Science** **219** (4591): 1429-1432.
- Heusser, C.J. 1966. Polar hemispheric correlation: Palynological evidence from Chile and the Pacific north-west of America. **Proceeding of the International Symposium held at Imperial College, Londres**: 124-141.
- Heusser, L.E. & Shackleton, N.J. 1994. Tropical climatic variation on the Pacific slopes of the Ecuadorian Andes based on a 25,000-year pollen record from deep-sea sediment core Tri 163-31B. **Quaternary Research** **42**(2): 222-225.
- Hevly, R.H. 1981. Pollen production, transport and preservation: potentials and limitations in Archaeological Palynology. **Journal Ethnobiology** **1**(1): 39-54.
- Holden, T.G. & Núñez, L. 1993. An analysis of the gut contents of five well-preserved human bodies from Tarapacá, Northern Chile. **Journal of archaeological science** **20**(6): 595-611.
- Hooghiemstra, H. 1984. Vegetational and climatic history of the high plain of Bogota, Colombia: a continuous record for the last 3.5 million years. **Dissertationes Botanicae**. Cramer, Vaduz, Germany. 79.
- Huamán, L.; Ventura, K.; Paulino, E. & Zegarra, L. 2005. Palynological and botanical studies from the Proyecto Arqueológico Norte Chico, Peru. In: **70th annual meeting of the Society for American Archaeologists, Salt Lake City**.
- Huamán, L. 2010. Arqueobiología de San Juan de Pariachi (Lima, Perú): una visión integral del estudio arqueológico basado en evidencia palinológica y paleobotánica. **Anais do XIII Simposio Brasileiro de Paleobotânica e Palinologia**.
- Jones, J.G. & Bonavia, D. 1992. Análisis de coprolitos de llama (*Lama glama*) del Precerámico Tardío de la Costa nor central del Perú. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines* **21**(3): 835-852.
- Jones, H.T.; Mayle, F.E.; Pennington, R.T. & Killeen, T.J. 2011. Characterisation of Bolivian savanna ecosystems by their modern pollen rain and implications for fossil pollen records. **Review of Palaeobotany and Palynology** **164**(3): 223-237.
- Kuentz, A.; Mera, D.; Galán, A.; Ledru, M. P. & Thouret, J.C. 2007. Phytogeographical data and modern pollen rain of the puna belt in southern Peru (Nevado Coropuna, Western Cordillera). **Journal of Biogeography** **34**(10): 1762-1776.
- Kuentz, A.; Ledru, M.P. & Thouret, J.C. 2011. Environmental changes in the highlands of the western Andean Cordillera, southern Peru, during the Holocene. **The Holocene** **22**: 1215-1226.

- Kuhry, P. 1988a. A paleobotanical and palynological study of Holocene peat from the El Bosque mire, located in a volcanic area of the Cordillera Central of Colombia. **Review of palaeobotany and palynology** **55**(1): 19-72.
- Kuhry, P. 1988b. Paleobotanical-palaeoecological studies of tropical high Andean peatbog sections (Cordillera Oriental, Colombia). **Dissertations botanicae**, Band 116.
- Leal, A.; Berrío, J.C.; Raimúndez, E. & Bilbao, B. 2011. A pollen atlas of premontane woody and herbaceous communities from the upland savannas of Guayana, Venezuela. **Palynology** **35**(2): 226-266.
- León, E. 2013. 14,000 años de alimentación en el Perú. **Universidad de San Martín de Porres**, Fondo Editorial.
- Leyden, B.W. 1985. Late Quaternary aridity and Holocene moisture fluctuations in the Lake Valencia basin, Venezuela. **Ecology**: 1279-1295.
- Lima-Ribeiro, M.S. & Barbieri, M. 2003. Estudo palinológico em um sitio arqueológico na área de abrangencia de UHE Guaporé/MT. **Canindé** **3**: 135-149.
- Lima-Ribeiro, M.S. & Barberi, M. 2005. Análise Palinológica: fundamentos e perspectivas na pesquisa arqueológica. **Goiania** **3**(2): 261-290
- Lima-Ribeiro, Barbieri & Rubin (2003)
- Markgraf, V. 1985. Late Pleistocene faunal extinctions in southern Patagonia. **Science** **228**(4703): 1110-1112.
- Markgraf, V. 1993. Climatic history of Central and South America since 18,000 yr BP: comparison of pollen records and model simulations. **Global climates since the last glacial maximum** **14**: 357-385.
- Medina, M.E.; Grill, S.C. & López, M.L. 2008. Palinología arqueológica: su implicancia en el estudio del prehispanico tardío de las sierras de Córdoba (Argentina). **Intersecciones en Antropología** **9**: 99-112.
- Méndez, C.A. & Jackson, D.G. 2006. Causalidad o concurrencia, relaciones entre cambios ambientales y sociales en los cazadores recolectores durante la transición entre el Holoceno medio y tardío (Costa del Semiárido de Chile). **Chungará**, Arica **38**(2): 172-184.
- Moore, P.D. 1998. Bioremediation: Incas and alders. **Nature** **394**(6690): 224-225.
- Moscol, M.C. 2010. Holocene upper forest line dynamics in the Ecuadorian Andes: a multiproxy study. **Thesis Universiteit van Amsterdam**.
- Ortuño, T.; Ledru, M.P.; Cheddadi, R.; Kuentz, A.; Favier, C. & Beck, S. 2011. Modern pollen rain, vegetation and climate in Bolivian ecoregions. **Review of Palaeobotany and Palynology** **165**(1): 61-74.
- Pearsall, D.M. 1989. **Paleoethnobotany: A handbook of procedures**. Academic Press. San Diego.
- Pearsall, D.M. 1994. "Investigating New World tropical agriculture: contributions from phytolith analysis". In: Hather, J. (ed.), **Tropical Archaeobotany. Applications and New Developments**. London and New York, Routledge.
- Piperno, D.R. 1998. Paleoethnobotany in the Neotropics from microfossils: new insights into ancient plant use and agricultural origins in the tropical forest. **Journal of World Prehistory** **12**(4): 393-449.
- Piperno, D.R. & Pearsall, D.M. 1998. **The Origins of Agriculture in the Lowland Neotropics**. San Diego, Academic Press
- Prebble, M. & Anderson, A. 2012. Palaeobotany and the early development of agriculture on Rapa Island. **Taking the High Ground** 167.
- Reese, C.A. 2003. Pollen dispersal and deposition in the high-central Andes, South America. **Doctoral dissertation**, Louisiana State University.
- Reinhard, K.J. & Bryant, V.M. 1992. Coprolite analysis: A biological perspective on archaeology. **Archaeological method and theory**: 245-288.
- Reinhard, K.J.; Bryant, V.M. & Vinton, S.D. 2007. Comment on reinterpreting the pollen data from dos Cabezas. **International Journal of Osteoarchaeology**, **17**(5): 531-541.
- Riccomini, C.; Turcq, B.J.; Ledru, M.P.; Sant'Anna, L.G. & Ferrari, J.A. 2005. Cratera de Colônia, SP-Provável astroblema com registros do paleoclima quaternário na Grande São Paulo. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. acesso <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio116/sitio116>.
- Rojas, V.G. 2004. Estudios botánicos, paleoambiente y arqueología: Cerro Onas, Tres Arroyos, Tierra del Fuego. **Chungará** (Arica)**36**: 381-386.

- Rojas, V.G.; Stehberg, R.; Aspillaga, E. & Prieto, A. 2004. Diagrama de correlación de hallazgos bióticos, abióticos y cronológicos de Caverna Piuquenes. **Chungará (Arica)**36: 547-550.
- Rull, V.; Abbott, M.B.; Polissar, P.J.; Wolfe, A.P.; Bezada, M. & Bradley, R.S. 2005. 15,000-yr pollen record of vegetation change in the high altitude tropical Andes at Laguna Verde Alta, Venezuela. **Quaternary research** 64(3): 308-317.
- Salgado-Labouriau, M.L.; Schubert, C. & Valastro S.Jr.1977. Paleoecologic analysis of a Late-Quaternary terrace from Mucubají, Venezuelan Andes. **Journal of Biogeography** 4: 313-325.
- Salgado-Labouriau, M.L. 1961. Palinología: fundamentos, técnicas e algunas perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia** 23(4): 695-717.
- Sobolik, K.D. 1996. Pollen as a guide to prehistoric diet reconstruction, p. 927-931. In J. Jansonius & D.C. McGregor (eds.). **Palynology: principles and applications**. American Association of Stratigraphic Palynologists, Dallas, TX, 133u
- Thompson, L.G.; Davis, M.E.; Mosley-Thompson, E. & K-b, L. 1988. Pre-incan agricultural activity recorded in dust layers in two tropical ice cores. **Nature** 336(6201): 763
- Thompson, L.G.; Mosley-Thompson, E.; Davis, M.E.; Lin, P.N.; Henderson, K.A.; Cole-Dai, J., ... & Liu, K.B. 1995. Late glacial stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru. **Science** 269(5220): 46-50.
- Tosto, A. C. M., Burry, L. S., & Civalero, M. T. 2012. Aportes Paleobotánicos en la Reconstrucción De Paleodietas. Análisis de Coprolitos Del Cerro Casa De Piedra, Santa Cruz /Palaeobotany contributions in palaeodiet reconstruction. Coprolites analysis of Cerro Casa de Piedra, Santa Cruz. **Revista del Museo de Antropología** 5(1): 163-170.
- Van der Hammen, T. 1961. The Quaternary climatic changes of northern South America. **Annals of the New York Academy of Sciences** 95(1): 676-683.
- Van der Hammen, T. (editors) 1963. A palynological study on the Quaternary of British Guiana. **Leidse Geologische Mededelingen** 29: 125-180.
- Van der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. **Journal of Biogeography**: 3-26.
- Van der Hammen, T. & Correal, G.U. 1978. Prehistoric man on the Sabana de Bogotá: Data an ecological prehistory. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 25: 79-190.
- Van der Hammen, T. & Absy, M.L. 1994. Amazonia during the last glacial. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 109(2): 247-261.
- Van der Hammen, T. & Noldus, G.W. 1985. **Pollen analysis of the Telarmachay Rockshelter**. Lavallee, D., Julien, M., Wheeler, J.C, and Karlin. C. (eds.), Telarmachay Chasseurs et Pasteurs Prehistoriques des Andes I. Paris, Editions Recherches sur les Civilisations, ADPF, 379-387.
- Vega-Centeno, R. & Huamán, L. 2009. Perfiles Palinológicos en Contextos domésticos y Rituales de Cerro Lampay, Valle de Fortaleza. **Libro de Trabajos del II Congreso Latinoamericano de Arqueometría**, Lima.
- Villagrán, C. 1985. Análisis palinológico de los cambios vegetacionales durante el Tardiglacial y Postglacial en Chiloé, Chile. **Revista Chilena de Historia Natural** 58: 57-69.
- Villagran, C. 1990. Glacial climates and their effects on the history of the vegetation of Chile: a synthesis based on palynological evidence from Isla de Chiloé. **Review of Palaeobotany and Palynology** 65(1): 17-24.
- Villagrán, C. 1991. Historia de los bosques templados del sur de Chile durante el Tardiglacial y Postglacial. **Revista Chilena de Historia Natural** 64(3): 447-460.
- Villagrán, C. 1993. Una interpretación climática del registro palinológico del último ciclo glacial-postglacial en Sudamérica. **Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines** 22: 243-258.
- Villagran, C. 2001. Un modelo de la historia de la vegetación de la Cordillera de la Costa de Chile central-sur: la hipótesis glacial de Darwin. **Revista Chilena de Historia Natural** 74(4): 793-803.
- Villa-Martínez, R.; Villagrán, C. & Jenny, B. 2003. The last 7500 cal yr BP of westerly rainfall in Central Chile inferred from a high-resolution pollen record from Laguna Aculeo (34 S). **Quaternary Research** 60(3): 284-293.

Villa-Martínez y Moreno (2007)

- Walker, J.H. 2011. Social implications from agricultural taskscapes in the southwestern Amazon. **Latin American Antiquity** **22**(3): 275-295.
- Weir, G.H.; Benfer, R.A. & Jones, J.G. 1988. Preceramic to Early Formative subsistence on the central coast. **Economic Prehistory of the Central Andes, British Archaeological Reports, International Series** 427: 56-94.
- Weir, G. & Bonavia, D. 1985. Coprolitos y dieta del precerámico tardío de la costa peruana. **Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines** **14**: 85-140.
- Weng, C.; Bush, M.B.; Curtis, J.H.; Kolata, A.L.; Dillehay, T.D. & Binford, M.W. 2006. Deglaciation and Holocene climate change in the western Peruvian Andes. **Quaternary Research** **66**(1): 87-96.
- Whitney, B.S.; Rushton, E.A.; Carson, J.F.; Iriarte, J. & Mayle, F.E. 2012. An improved methodology for the recovery of *Zea mays* and other large crop pollen, with implications for environmental archaeology in the Neotropics. **The Holocene** **22**(10): 1087-1096.
- Wijmstra, T.A. & Van der Hammen, T. 1967. **Palynological data on the history of tropical savannas in northern South America**, vol. 6. Department of Geography, McGill University.
- Wijmstra, T.A. 1969. Palynology of the Alliance Well. **Geologie en Mijnbouw** **48**(2): 125-133.
- Wijmstra, T.A. 1971. **The palynology of the Guiana Coastal Basin**. Thesis University of Amsterdam. Ed. By Kempnaer, Oestgeest, Neanderland.
- Wille, M.; Hooghiemstra, H.; Hofstede, R.; Fehse, J. & Sevink, J. 2002. Upper forest line reconstruction in a deforested area in northern Ecuador based on pollen and vegetation analysis. **Journal of Tropical Ecology** **18**(03): 409-440.

# POALES NEOTROPICAIS – FILOGENIA, MORFOLOGIA E SUAS IMPLICAÇÕES NA TAXONOMIA

**Ana Maria Giulietti<sup>1</sup>, Marcelo Trovó<sup>2</sup>, Vera Lucia Scatena<sup>3</sup>,  
Maria José Gomes de Andrade<sup>4</sup>, Thomas Stützel<sup>5</sup> & Aline Oriani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Ciências Biológicas,  
Programa de Pós-Graduação em Botânica, Feira de Santana, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia,  
Departamento de Botânica, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, Rio Claro, Brasil.

<sup>4</sup>Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Educação,  
Laboratório de Biologia Molecular, Paulo Afonso, Brasil.

<sup>5</sup>Ruhr-Universität Bochum, Faculty of Biology and Biotechnology,  
Department of Evolution and Biodiversity of Plants, Bochum, Alemanha.

[anagiulietti@hotmail.com](mailto:anagiulietti@hotmail.com), [anagiulietti@hotmail.com](mailto:anagiulietti@hotmail.com), [vscatena@rc.unesp.br](mailto:vscatena@rc.unesp.br),  
[mariajandrade@gmail.com](mailto:mariajandrade@gmail.com), [thomas.stuetzel@rub.de](mailto:thomas.stuetzel@rub.de) e [alineoriani@yahoo.com.br](mailto:alineoriani@yahoo.com.br)

## Introdução

As Angiospermas incluem cerca de 280.000 espécies, das quais cerca de 65.000 estão incluídas no grupo monofilético das Monocotiledôneas, reunidas em 12 ordens e 79 famílias. As ordens mais avançadas, Arecales, Poales, Commelinales e Zingiberales, juntamente com a família Dasypogonaceae formam o grupo informal das Commelinídiás (APGIII 2009). Poales é constituída por 16 famílias, com cerca de 20.000 espécies, quase 1/3 das monocotiledôneas (Bouchenak-Khelladi *et al.* 2014). As seguintes famílias ocorrem na região Neotropical: Bromeliaceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae, Juncaceae, Mayacaceae, Poaceae, Rapateaceae, Thurniaceae, Typhaceae e Xyridaceae e constituem o objetivo desse texto.

Apesar das espécies de Poales apresentarem morfologia, fisiologia e ecologia bem diversificada, a maioria delas possui hábito herbáceo, epiderme silicificada, ausência de micorriza, flores pequenas e sem nectários e polinização anemófila. Também, explora diversos habitats principalmente de locais abertos, tanto nas regiões semiáridas como florestais.

O grupo de Poales é bem antigo, tendo sua origem durante o Cretáceo. Porém os registros fósseis são poucos, provavelmente decorrente de condições pouco favoráveis para a preservação dos fósseis. Mesmo assim, megafósseis de frutos, sementes e folhas de Typhaceae (*Typha* e *Sparganium*) são datados do Cretáceo da América do Norte, Europa, Ásia e Austrália, e são os mais antigos da ordem. Apenas para mais quatro famílias da ordem são identificados megafósseis. Em Gramineae, espiguetas e fragmentos de inflorescência incluindo grãos de pólen, datam do Paleoceno-Eoceno; para Xyridaceae são referidas sementes do Mioceno Médio e Superior; frutos de Cyperaceae extintas são referidas do Eoceno Médio até o Plioceno e, para Juncaceae são sementes de *Juncus* do Eoce-

no-Oligoceno (Smith *et al.* 2010). Segundo Bouchenak-Khelladi *et al.* (2014) a grande diversidade e exploração de diferentes ambientes pelas Poales, é o resultado de mais de cem milhões de anos de evolução principalmente em adaptação as mudanças de concentração de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Nas famílias neotropicais várias características morfológicas e fisiológicas adaptativas se estabeleceram, podendo ser destacadas entre outras, o caule com crescimento simpodial, sistemas subterrâneos especiais, persistência das bainhas foliares garantindo proteção contra a seca e fogo, o surgimento do hábito epífita, desenvolvimento da fotossíntese C4 e mecanismo CAM.

No presente simpósio, dentro de Poales haverá um destaque para as famílias consideradas basais, como Bromeliaceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae, Rapateaceae e Xyridaceae. Na primeira mesa redonda, serão discutidas as principais características morfológicas e anatômicas das Poales, mostrando a sua aplicação na taxonomia e na evolução, e a filogenia do grupo e suas implicações taxonômicas. Na segunda mesa redonda será enfocada a diversidade dessas famílias, especialmente no Brasil, as áreas onde ocorreram os avanços na pesquisa, com vistas a futuros projetos colaborativos.

## **Inflorescências em Poales, diversidade, usos e implicações na Sistemática - o exemplo das Eriocaulaceae**

Inflorescências possuem notada relevância em questões taxonômicas nos diversos níveis hierárquicos. No entanto, a maioria dos taxonomistas considera árdua a utilização dos caracteres contidos nas inflorescências (Endress 2010). Grande parte desta dificuldade é oriunda da confusa terminologia introduzida pela escola alemã de W. Troll (Endress 2010; Stützel & Trovó 2013). Nas monocotiledôneas ocorrem inflorescências cimosas e racemosas e as flores podem ou não ser subtendidas por brácteas (Remizowa *et al.* 2014).

Dentro da ordem Poales várias famílias possuem flores reunidas em inflorescências, as quais representam uma enorme diversidade de padrões morfológicos. Algumas destas famílias já possuem padrões conhecidos, como é o caso de Poaceae, enquanto outras ainda carecem de estudos preliminares (e.g. Rua 1996; Vegetti & Anton 1995; Vegetti & Anton 1996; Vegetti & Anton 2000).

Neste trabalho utilizamos o caso das inflorescências de Eriocaulaceae como um modelo para estudos mais objetivos e simplificados sobre os padrões morfológicos das inflorescências e sua consequente aplicação na sistemática do grupo. A primeira vista as inflorescências de Eriocaulaceae são uniformes, possuindo flores reunidas em densos capítulos. No entanto, tais capítulos são a unidade básica de inflorescências mais complexas (Stützel 1984). Examinando estas estruturas percebe-se que a grande diversidade de padrões morfológicos das inflorescências é proveniente de rearranjos de alguns tipos básicos. A terminologia aplicada pode restringir-se a estes tipos básicos, e as estruturas mais complexas podem ser enumeradas a partir deles (Stützel & Trovó 2013). Tal abordagem reduz significativamente a quantidade de termos e possibilita o reconhecimento de partes homólogas nos arranjos das diferentes inflorescências e com uma terminologia simplificada tem-se mais clareza sobre os aspectos evolutivos destas inflorescências e do próprio grupo. O reconhecimento das homologias auxilia a reconstrução da filogenia do grupo e a interpretação correta dos caracteres em um contexto amplo. Assim, os caracteres das inflorescências podem ser objetivamente incluídos na sistemática da família, servindo como exemplo para estudos semelhantes em outras famílias da ordem (Endress 2010; Stützel & Trovó 2013).

## **Anatomia de Poales e interpretações taxonômicas**

Estudos anatômicos em representantes de Poales brasileiras mostram estruturas de folhas, eixos de inflorescência, flores e sementes que são importantes para a taxonomia.

Em **Rapateaceae** a estrutura e a forma da nervura mediana da folha e a forma do eixo da inflorescência em secção transversal diferenciam as espécies. São características da família, a presença de estômatos tetracíticos na folha e no eixo da inflorescência e de tricomas secretores de mucilagem na bainha foliar (Ferrari *et al.* 2014). Estruturas da flor também caracterizam a família: cutícula estriada recobrendo as peças florais; pétalas com células epidérmicas de paredes sinuosas na face abaxial; anteras com células epidérmicas contendo compostos fenólicos e tricomas secretores de mucilagem na base das peças florais (Oriani & Scatena 2013).

Ao nível de subfamília, células epidérmicas com compostos fenólicos nas folhas são exclusivas de *Monotrema* e caracterizam Monotremoideae. Ao nível genérico, *Rapatea* é distinto dos demais gêneros pelos estômatos e idioblastos com corpos de sílica restritos à face abaxial da folha. *Spathanthus* é caracterizado pela presença de feixes de fibras no mesofilo e no parênquima do eixo da inflorescência e parênquima clorofiliano plicado no limbo foliar. *Stegolepis* apresenta cordões de fibras subepidérmicos restritos à face abaxial da folha, enquanto em *Saxofridericia* esses cordões ocorrem em ambas as faces (Ferrari *et al.* 2014). *Stegolepis* e *Saxofridericia* compartilham poucas características anatômicas, corroborando sua classificação em tribos diferentes (Givnish *et al.* 2004).

São estruturas da flor que caracterizam subfamílias: Rapateoideae - sépalas com células epidérmicas contendo sílica e camada mediana persistente na parede da antera madura; Monotremoideae - sépalas com tricomas apenas na face adaxial (Oriani & Scatena 2013). *Rapatea* e *Cephalostemon* apresentam várias características comuns na flor, folha e no eixo da inflorescência, concordando com análises filogenéticas da família em que esses dois gêneros aparecem como grupos-irmãos (Givnish *et al.* 2004).

Em **Bromeliaceae** as folhas apresentam parênquima clorofiliano com células braciformes e feixes de fibras. Ocorre também mucilagem nas folhas e nas flores (Sajo *et al.* 2004; Silva & Scatena 2011). Tais características são compartilhadas com Rapateaceae e aproximam essas famílias, corroborando as análises filogenéticas de Poales em que as mesmas aparecem como basais (p.ex. Givnish *et al.* 2010).

Em **Juncaceae** caracteres florais como presença de obturador no ovário e intumescimento da base das tépalas e dos filetes diferenciam *Luzula* de *Juncus* (Oriani *et al.* 2012).

Em **Cyperaceae** os diferentes tipos de anatomia Kranz delimitam tribos, sendo o tipo fimbristilóide típico para Abildgaardieae; o clorociperóide para Cypereae; o eleocaróide para Eleocharideae; e o clorociperóide ou rincosporóide em Rhynchosporae (Martins & Scatena 2011). Estudos de embriologia contribuem com caracteres diagnósticos para a família: microsporogênese simultânea que resulta em grãos de pólen do tipo pseudomônades, presença de obturador funicular, sementes testais-tégmicas e fruto do tipo aquênio (Coan *et al.* 2008).

Em **Xyridaceae** estruturas de folhas e flores diferenciam *Xyris* (Xyridoideae) dos demais gêneros (Abolbodoideae). Estômatos restritos à face abaxial do limbo foliar, extensão de bainha dos feixes vasculares do mesofilo, lacunas de ar na bainha foliar e flores com apêndices nectaríferos no estilete são características compartilhadas por *Orectanthe*, *Abolboda* e *Aratitiopea* (Scatena *et al.* 2011; Oriani & Scatena 2012) e corroboram o posicionamento desses gêneros em Abolbodoideae. A embriologia também diferencia as duas subfamílias, sendo características de Xyridoideae (*Xyris*): óvulos ortótopos, desenvolvimento do megagametófito do tipo *Allium* e envoltório seminal formado por endotégmen, endotesta e exotesta.

Em **Eriocaulaceae** os apêndices nectaríferos no estilete estão presentes (Rosa & Scatena 2007) e aproximam essa família à Xyridaceae. Também, a estrutura anatômica da folha de representantes de Abolbodoideae é semelhante a de Eriocaulaceae (Scatena *et al.* 2005), sendo que ambas compartilham a presença de estômatos restritos à face abaxial e feixes vasculares distribuídos em fileira única e com extensão de bainha. Em Eriocaulaceae estruturas da folha e do escapo são úteis para diferenciar espécies (Scatena *et al.* 2005). Já a embriologia é constante na família (Coan *et al.* 2010).

**Mayacaceae** aparece incluída no clado xyrídeo na maioria das análises filogenéticas de Poales (p.ex. Givnish *et al.* 2010), porém a presença de pétalas com células epidérmicas papilosas, verticilo interno de estames reduzido, estiletos e estigmas vascularizados pelos feixes dorsais e ventrais dos carpelos e obturador no ovário distingue essa família de Eriocaulaceae e Xyridaceae (Oriani & Scatena 2012). A redução do verticilo interno de estames ocorre também em Juncaceae e Cyperaceae, aproximando Mayacaceae das cyperídeas, em concordância com a análise filogenética mais recente de Poales em que Mayacaceae se posiciona no clado cyperídeo apesar do baixo suporte filogenético (Bouchenak-Khelladi *et al.* 2014).

Em **Poaceae** estruturas de óvulo, cariópse e semente separam as subfamílias, sendo características de Bambusoideae: óvulo hemianátropo e pseudocrassinucelado, cariópse com endocarpo fenólico e semente ategumentada; Panicoideae: óvulo hemianátropo e pseudocrassinucelado, pericarpo comprimido e adnato ao tégmen; Chloridoideae: óvulo campilótropo e tenuinucelado, exocarpo livre e endotégmem fenólico (Nakamura *et al.* 2009).

## Filogenia de Poales

O monofiletismo de Poales é sustentado por caracteres de sequências de DNA, em numerosos estudos filogenéticos que levaram a mais recente circunscrição da ordem em 16 famílias: Anarthriaceae, Bromeliaceae, Centrolepidaceae, Cyperaceae, Ecdeioleaceae, Eriocaulaceae, Flagellariaceae, Joinvilleaceae, Juncaceae, Mayacaceae, Poaceae, Rapateaceae, Restionaceae, Thurniaceae, Typhaceae e Xyridaceae (Dahlgren & Rasmussen 1983, Duvall *et al.* 1993, Linder & Kellogg 1995; Chase *et al.* 2000, 2005; Bremer, 2002; APG II, 2003; Michelangeli *et al.*, 2003; Davis *et al.*, 2004; APG III, 2009; Givnish *et al.*, 2010). As relações filogenéticas em Poales tem sido estabelecidas com suportes de moderado a fortemente sustentadas tanto por *bootstrap* ( $\rightarrow$  70%) quanto pela probabilidade posterior maiores ( $\rightarrow$  0,80) com: 1) Bromeliaceae, Typhaceae e Rapateaceae sendo as primeiras linhagens a divergirem; 2) clado 'cyperid' (Cyperaceae, Juncaceae e Thurniaceae) mais o 'xyrid' (Eriocaulaceae, Mayacaceae e Xyridaceae) como grupo irmão para 3) clado 'restid' (Anarthriaceae, Centrolepidaceae e Restionaceae) mais o 'graminid' (Ecdeioleaceae, Flagellariaceae, Joinvilleaceae e Poaceae) (Bremer 2002; Davis *et al.* 2004; Chase *et al.* 2005; Givnish *et al.* 2010).

Caracteres morfológicos considerados como possíveis sinapomorfias da ordem são corpos sílicos na epiderme e estiletos fortemente ramificados. A polinização pelo vento, anemofilia, evoluiu muitas vezes dentro de Poales associado com a perda dos nectários septais (Judd *et al.* 1999). As estimativas indicam que a origem das *Poales* tenha sido a América do Sul, há cerca de 115 milhões de anos, baseadas em registros de fósseis de pólen e frutos datados do Cretáceo (Bremer 2000). A ordem apresenta uma extrema variação em riqueza de espécies, com Poaceae contendo cerca de 10.000 espécies e outras seis famílias com menos de 10 espécies.

No sistema de classificação de Cronquist (1981, 1988) as famílias que hoje compõem as Poales, estavam distribuídas nas ordens Bromeliales, Cyperales, Hydatellales, Juncales, Restionales e Typhales. No primeiro sistema de classificação baseado em dados moleculares, APG (1998) foi incluída Poales com as seguintes famílias: Anarthriaceae, Centrolepidaceae, Cyperaceae, Ecdeioleaceae, Eriocaulaceae, Flagellariaceae, Hydatellaceae, Joinvilleaceae, Juncaceae, Poaceae, Prioniaceae, Restionaceae, Sparganiaceae, Thurniaceae, Typhaceae e Xyridaceae. No APG II (2003) foram incluídas as famílias Bromeliaceae, Mayacaceae e Rapateaceae e excluídas as Hydatellaceae e Prioniaceae.

Bouchenak-Khelladi *et al.* (2014) realizaram a maior análise filogenética com dados moleculares, a partir de sequências de *rbcL* e *ndhF* extraídas do *GenBank*. Foram incluídas 545 espécies das 16 famílias reconhecidas para Poales (APG III, 2009), e mais 12 espécies de Arecales utilizadas como grupo externo. Além da filogenia foram realizadas análises de datação molecular, reconstrução an-



cestral e de diversificação, sendo desenvolvida uma abordagem macro-evolutiva e macro-ecológica para relacionar às buscas por padrões de diversificação na ordem. Seus dados mostraram que as famílias em Poales divergiram no final do Cretáceo, cerca de 118,8 m.a., um período de alto nível de CO<sub>2</sub> e alta pluviosidade e em ambientes abertos e secos. Os autores sugerem que linhagens com mecanismos de concentração de CO<sub>2</sub> de ambiente seco e aberto, exibiram maiores taxas de diversificação do que as linhagens com fotossíntese C<sub>3</sub> de ambientes sombreados e úmidos. Os mecanismos de concentração de CO<sub>2</sub> neutralizaram os efeitos do baixo CO<sub>2</sub> atmosférico e reduziram a fototranspiração. Também consideram que a evolução paralela da fotossíntese C<sub>4</sub> e CAM em Poaceae, Cyperaceae e Bromeliaceae foi uma adaptação para as mudanças na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico e que fatores extrínsecos e intrínsecos podem ter desempenhado um importante papel nas mudanças das taxas de diversificação, inclusive podendo explicar a variação na riqueza de espécies em Poales. O aparecimento de linhagens de Bromeliaceae de ambientes sombreados e úmidos, ocorreu durante o Mioceno Superior, (entre 4,6-16,9 m.a.) com a via de mecanismo de concentração de carbono CAM.

As análises apresentadas por Bouchenak-Khelladi *et al.* (2014) recuperaram cinco clados bem sustentados, correspondendo as primeiras divergências em Poales: as 'bromelióides' (Bromeliaceae e Typhaceae), as 'xyridóides' (Eriocaulaceae e Xyridaceae), as 'restióides' (Anarthriaceae e Restionaceae incluindo Centrolepidaceae), as 'graminóides' (Ecdeiocoleaceae, Flagellariaceae, Joinvilleaceae e Poaceae) e as 'cyperóides' (Cyperaceae, Juncaceae, Mayacaceae, Rapateaceae e Thurniaceae). Contudo, o clado 'cyperóides' não foi fortemente sustentado, apresentando 0.90 de Probabilidade Posterior. Também, a inclusão de Mayacaceae e Rapateaceae no clado 'cyperóides' não foi fortemente sustentado. Apesar da proposta de inclusão de Centrolepidaceae em Restionaceae, o monofiletismo do grupo irmão de Restionaceae não é sustentado fortemente.

As Eriocaulaceae tiveram origem no Cretáceo Superior e Xyridaceae no Cenozoico Inferior e ambos os ancestrais foram originados em ambientes ensolarados. Em Eriocaulaceae a primeira linhagem adaptada para ambiente úmido foi estimada como tendo ocorrido em 32,8-57,6 m.a. Anarthriaceae teve origem em habitats úmidos e abertos do Oligoceno, sendo o início da diferenciação do clado 'restióides'. O clado Restionaceae + Centrolepidaceae foi originado no Cretáceo Superior, em ambientes ensolarados. Flagellariaceae divergiu a partir de outras linhagens 'graminóides' em 95,3 m.a. em habitats sombreados, seguida por Joinvilleaceae em 76,7 m.a. em ambientes úmidos e ensolarados. Ecdeiocoleaceae teve origem no Eoceno Superior em habitats sombreados e secos. Em Poaceae, o clado 'Gramínea espiguetas' (BEP + PAC-MAD) originou-se no fim do Paleoceno, entre 53-60 m.a. em ambientes secos e ensolarados. Os mecanismos de concentração de carbono em Poaceae teve origem entre o Eoceno e o Oligoceno, em habitats seco e aberto para Aristidoideae (36-46 m.a.), Chloridoideae (33-45 m.a.) e Panicoideae (24-33 m.a.). Dentro do clado 'cyperóide', o apogeu das Thurniaceae foi datado de 26,1 m.a. a partir de ancestrais adaptados a ambientes ensolarados e úmidos. Por fim, o surgimento das Cyperaceae foi datado de 82,3 m.a. em habitats abertos e secos. Entretanto, adaptações para a ocorrência em ambientes alagados ocorreu apenas no Oligoceno Inferior (~55-23 m.a.) para os ancestrais do clado que inclui as tribos Abildgaardieae, Cariceae, Cyperaeae, Eleocharideae e Scirpeae. Reversões à habitats ensolarados e o aparecimento de CCMs em Abildgaardieae e Cypereae ocorreu a partir do Oligoceno ao início do Mioceno.

## Referências

- APG I. 1998. The Angiosperm Phylogeny Group. An ordinal classification for the families of flowering plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **85**: 531-553.
- APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society** **141**: 399-436.
- APG III. 2009. An updated of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. **Botanical Journal of the Linnean Society** **161**: 105-121.

- Bouchenak-Khelladi, Y.; Muasya, A.M. & Linder, A.P. 2014. A revised evolutionary history of Poales: origins and diversification. **Botanical Journal of the Linnean Society** **175**: 4-16.
- Bremer, K. 2000. Early Cretaceous lineages of monocot flowering plants. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America** **97**: 4707-4711.
- Bremer, K. 2002. Gondwanan Evolution of the Grass Alliance of Families (Poales). **Evolution** **56**: 1374-1387.
- Chase, M.W.; Fay, M.F.; Devey, D.S.; Maurin, O.; Ronsted, N.; Davies, T.J.; Pillon, Y.; Petersen, G.; Seberg, O.; Tamura, M.N.; Asmussen, C.B.; Hilu, K.; Borsch, T.; Davis, J.L.; Steverson, D.W.; Pires, J.C.; Givnish, T.J.; Sytsma, K.J.; McPherson, M.A.; Graham, S.W. & Rai, H.S. 2005. Multigene analyses of monocot relationships: a summary. **Aliso** **22**: 63-75.
- Chase, M.W.; Soltis, D.E.; Soltis, P.S.; Rudall, P.J.; Fay, M.F.; Hahn, W.J.; Sullivan, S.; Joseph, J.; Molvray, M.; Kores, P.J.; Givnish, T.J.; Sytsma, K.J. & Pires, J.C. 2000. Higher-level systematics of the monocotyledons: an assessment of current knowledge and a new classification. Pp. 3-6. In: Wilson, K.L. & Morrison, D.A. (Eds.). **Monocots: systematics and evolution**. Melbourne: CSIRO.
- Coan, A.I.; Alves, M.V. & Scatena, V.L. 2008. Comparative study of ovule and fruit development in species of *Hypolytrum* and *Rhynchospora* (Cyperaceae, Poales). **Plant Systematics and Evolution** **272**: 181-195.
- Coan, A.I.; Stützel, T. & Scatena, V.L. 2010. Comparative embryology and taxonomic considerations in Eriocaulaceae (Poales). **Feddes Repertorium** **121**: 268-284.
- Cronquist, A. 1981. **An integrated system of classification of flowering plants**. Columbia University Press, New York, USA.
- Cronquist, A. 1988. **The evolution and classification of flowering plants**. The New York Botanical Garden, New York, USA.
- Dahlgren, R.M.T. & Rasmussen, F.N. 1983. Monocotyledon evolution: characters and phylogenetic estimation. **Evolutionary Biology** **16**: 255-395.
- Davis, J.L.; Stevenson, D.W.; Petersen, G.; Seberg, O.; Campbell, L.M.; Freudenstein, J.V.; Goldman, D.H.; Hardy, C.R.; Michelangeli, F.A.; Simmons, M.P.; Specht, C.D.; Vergara-Silva, F. & Gandolfo, M.A. 2004. A phylogeny of the monocots, as inferred from *rbcL* and *atpA* sequence variation, and a comparison of methods for calculating jackknife and bootstrap values. **Systematic Botany** **29**: 467-510.
- Duvall, M.R.; Clegg, M.T.; Chase, M.V.; Clark, W.D.; Kress, W.J.; Hills, H.G.; Eguiarte, L.E.; Smith, J.F.; Gaut, B.S.; Zimmer, E.A. & Learn, G.H. Jr. 1993. Phylogenetic hypothesis for the monocotyledons constructed from *rbcL* sequence data. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **80**: 607-619.
- Endress, P.K. 2010. Disentangling confusions in inflorescence morphology: patterns and diversity of reproductive shoot ramification in Angiosperms. **Journal of Systematics and Evolution** **48**: 225-239.
- Ferrari, R.C.; Scatena, V.L. & Oriani, A. 2014. Leaf and inflorescence peduncle anatomy: a contribution to the taxonomy of Rapateaceae. **Plant Systematics and Evolution** (in press, published online).
- Givnish, T.J.; Millam, K.C.; Evans, T.M.; Hall, J.C.; Pires, J.C.; Berry, P.E. & Sytsma, K.J. 2004. Ancient vicariance or recent long-distance dispersal? Inferences about phylogeny and south american-african disjunctions in Rapateaceae and Bromeliaceae based on *ndhF* sequence data. **International Journal of Plant Sciences** **165**: 35-54.
- Givnish, T.J.; Ames, M.; McNeal, J.R.; McKain, M.R.; Steele, P.R.; dePamphilis, C.W.; Graham, S.W.; Pires, J.C.; Stevenson, D.W.; Zomlefer, W.B.; Briggs, B.G.; Duvall, M.R.; Moore, M.J.; Heaney, J.M.; Soltis, D.E.; Soltis, P.S.; Thiele, K. & Leebens-Mack, J.H. 2010. Assembling the tree of the monocotyledons: plastome sequence phylogeny and evolution of Poales. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **97**: 584-616.
- Judd, W.S.; Campbell, C.S.; Kellogg, E.A. & Stevens, P.F. 1999. **Plant Systematics: a phylogenetic approach**. Sunderland: Sinauer Associates.
- Judd, W.S.; Campbell, C.S.; Kellogg, E.A.; Stevens, P.F.; Donoghue, M.J. 2002. **Plant Systematics: A Phylogenetic Approach**, 2nd ed.. Pp. 276-292. (Poales). Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates. Linder, H.P. & Kellogg, E.A. 1995. Phylogenetic patterns in the Commelinid clade. Pp. 473-496. In: Rudall, P.J.; Cribb, P.J.; Cutler, D.F. & Humphries (Eds.). **Monocotyledons: Systematics and evolution**. Whistable, Whistable Litho Printers Ltda.

- Michelangeli, F.A.; Davis, J.L. & Stevenson, D.W. 2003. Phylogenetic relationships among Poaceae and related families as inferred from morphology, inversions in the plastid genome, and sequences data from the mitochondrial and plastid genomes. **American Journal of Botany** **90**: 93-106
- Martins, S. & Scatena, V.L. 2011. Bundle sheath ontogeny in Kranz and non-Kranz species of Cyperaceae (Poales). **Australian Journal of Botany** **59**: 554-562.
- Nakamura, A.T.; Longhi-Wagner, H.M. & Scatena, V.L. 2009. Desenvolvimento de óvulo, fruto e semente de espécies de Poaceae (Poales). **Revista Brasileira de Botânica** **32**: 165-176.
- Oriani, A. & Scatena, V.L. 2012. Floral anatomy of xyrids (Poales): contributions to their reproductive biology, taxonomy and phylogeny. **International Journal of Plant Sciences** **165**: 767-779.
- Oriani, A. & Scatena, V.L. 2013. The taxonomic value of the floral characters in Rapateaceae (Poales - Monocotyledons). **Plant Systematics and Evolution** **99**: 291-303.
- Oriani, A.; Stützel, T. & Scatena, V.L. 2012. Contributions to the floral anatomy of Juncaceae (Poales - Monocotyledons). **Flora** **207**: 334-340.
- Remizowa, M.V., Sokoloff, D.D. 2014. Patterns of bract reduction in racemose inflorescence of early-divergent monocots, Pp. 185-207. In: Wilkin, P. & Mayo, S. (Eds.). **Early events in Monocot Evolution**. Cambridge, University Press.
- Rosa, M.M. & Scatena, V.L. 2007. Floral anatomy of Paepalanthoideae (Eriocaulaceae, Poales) and their nectariferous structures. **Annals of Botany** **99**: 131-139.
- Rua, G.H. 1996. The inflorescences of *Paspalum* (Poaceae, Paniceae): the Quadrifaria group and the evolutionary pathway towards the fully homogenized, truncated common type. **Plant Systematics and Evolution** **201**: 199-209.
- Sajo, M.G.; Rudall, P.J. & Prychid, C.J. 2004. Floral anatomy of Bromeliaceae, with particular reference to the evolution of epigyny and septal nectaries in commelinid monocots. **Plant Systematics and Evolution** **247**: 215-231.
- Scatena, V.L.; Giulietti, A.M.; Borba, E.L. & Van der Berg, C. 2005. Anatomy of Brazilian Eriocaulaceae: correlation with taxonomy and habitat using multivariate analyses. **Plant Systematics and Evolution** **253**: 1-22.
- Scatena, V.L.; Formiga, C.C. & Oriani, A. 2011. On the taxonomic value of the anatomical structure of vegetative organs and inflorescence axis of *Abolboda* species (Xyridaceae - Poales). **Journal of the Torrey Botanical Society** **138**: 381-390.
- Silva, I.V. & Scatena, V.L. 2011. Anatomia foliar de espécies de Bromeliaceae (Poales) da Amazônia, Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta-Floresta**: **9**: 225-240.
- Small, J.K. 1903. **Flora of the Southeastern United States**, 48. New York, USA.
- Smith, S.Y., Collinson, M.E., Rudall, P.J. & Simpson, D.A. 2010. Cretaceous and Paleogene fossil record of Poales: Review and Current Research. Pp. 333-356. In: Seberg, O., Petersen, G., Barfod, A.S. & Davis, J.I. (Eds.). **Diversity, Phylogeny, and Evolution in the Monocotyledons**. Aarhus, University Press.
- Stützel, T. 1984. Blüten und infloreszenzmorphologische Untersuchungen zur Systematik der Eriocaulaceen. **Dissertationes Botanicae** **71**: 1-189.
- Stützel, T. & Trovó, M. 2013. Inflorescences in Eriocaulaceae: taxonomic relevance and practical implications. **Annals of Botany** **112**: 1505-1522.
- Vegetti, A.C. & Anton, A.M. 1995. Some evolution trends in the inflorescence of Poaceae. **Flora** **190**: 225-228.
- Vegetti, A.C. & Anton, A.M. 1996. The synflorescence concept in Poaceae. **Flora** **191**: 231-234.
- Vegetti, A.C., Anton, A.M. 2000. The grass inflorescence. Pp. 29-31. In: Jacobs, S.W.L. & Everett, J. (Eds.). **Grass Systematic and Evolution**. Melbourne, CSIRO Publishing.

# POALES NEOTROPICAIS – AVANÇOS RECENTES NAS PESQUISAS

**Maria das Graças Lapa Wanderley<sup>1</sup>, Ana Paula do Nascimento Prata<sup>2</sup>,  
Leonardo M. Versieux<sup>3</sup> & Livia Echternacht<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Botânica, Instituto de Botânica, São Paulo, Brasil.

[gracaw@me.com](mailto:gracaw@me.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Biologia,  
Laboratório de Sistemática Vegetal, Aracaju, Brasil.

[apprata@yahoo.com.br](mailto:apprata@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências,  
Departamento de Botânica e Zoologia, Natal, Brasil.

[lversieux@yahoo.com.br](mailto:lversieux@yahoo.com.br)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Biologia,  
Laboratório de Sistemática Vegetal, Uberlândia, Brasil.

[livia.echter@inbio.ufu.br](mailto:livia.echter@inbio.ufu.br)

## Introdução

A ordem Poales no conceito do APG III (2009) é constituída por 16 famílias, com cerca de 20.000 espécies, perfazendo aproximadamente 1/3 das monocotiledôneas. Segundo Bouchenak-Khella-di *et al.* (2014) Poales constitui um microcosmo nas Angiospermas, estimando-se que tenham surgido há cerca de 118,8 m.a., no Cretáceo Inferior e com duas linhagens atuais diversificando-se, especialmente, a partir do Cretáceo Superior. As seguintes famílias da ordem ocorrem nos Neotrópicos: Bromeliaceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae, Juncaceae, Mayacaceae, Poaceae, Rapateaceae, Thurniaceae, Typhaceae e Xyridaceae. Dessas, enquanto Poaceae tem mais de 10.000 espécies, Mayacaceae, Thurniaceae e Typhaceae têm até 10 espécies. Mayacaceae tem cerca de 10 espécies com distribuição da América Central até o Paraguai, com quatro espécies no Brasil (Aona 2014). Thurniaceae tem distribuição disjunta na África do Sul, com o gênero monotípico e arbustivo *Prionium* [*P. serratum* (L.f.) Drège], até recentemente incluído em Juncaceae, e o gênero *Thurnia* com suas três espécies herbáceas, na região neotropical com distribuição no planalto das Guianas e extensão até a região amazônica. Com exceção de Cyperaceae, Juncaceae, Poaceae e Typhaceae, famílias consideradas cosmopolitas, as demais famílias têm centro de diversidade na região neotropical, seja nos Tepuis da Venezuela como Rapateaceae ou na Cadeia do Espinhaço no Brasil (Eriocaulaceae e Xyridaceae). No Brasil, as famílias de Poales estão representadas em todos os biomas, mas com prevalência no cerrado.

Com o advento da sistemática filogenética, as Angiospermas têm passado por várias classificações. Em Monocotiledôneas, houveram mudanças notórias relacionadas à circunscrição dos grandes grupos. Em Poales foram propostas novas circunscrições, revolucionando a sistemática do grupo. Poucas são as sinapormofias morfológicas que sustentam o posicionamento das famílias em Poales, permanecendo muitas dúvidas quanto aos relacionamentos das mesmas. Linder & Rudall (2005) re-

conhecem o clado denominado “Xyrídio”, constituído pelas famílias Mayacaceae, Hydatellaceae, Eriocaulaceae e Xyridaceae, que emerge polifilética, sendo esse um dos clados mais polêmicos. Segundo o APG III, Hydatellaceae foi excluída das Monocotiledôneas e incluída em Nymphaeales. Mayacaceae também apresenta caracteres anatômicos bem distintos de Eriocaulaceae e Xyridaceae (Oriani & Scatena 2012). Além do relacionamento entre famílias da ordem, as classificações infra-familiares estão em discussão. Novas propostas, especialmente embasadas nos estudos moleculares, estão constantemente surgindo. Bouchenak-Khelladi *et al.* (2014) apontam para uma nova classificação para a ordem, na qual o clado das “Xyrídeas” passa a ser constituído apenas pelas famílias Xyridaceae e Eriocaulaceae, com Mayacaceae passando a integrar o clado das Cyperídeas, apesar da frágil sustentação do mesmo. Segundo o APG III (2009), Rapateaceae é relacionada com Bromeliaceae e Typhaceae ocupando uma posição basal em Poales. Tal posicionamento é modificado por Bouchenak-Khelladi *et al.* (2014) e Rapateaceae, juntamente com Mayacaceae passam a integrar o clado das Cyperídeas que também inclui Thurniaceae, Juncaceae e Cyperaceae. Segundo esses mesmos autores, as Bromeliaceae tendo Typhaceae como grupo irmão seriam o grupo basal dentro das Poales. Apesar das fortes diferenças morfológicas, tanto vegetativas como reprodutivas, espécies das duas famílias apresentam como sinapomorfia putativa ovário ínfero e nectários septais.

No último Congresso de monocotiledôneas realizado em 2013 em Nova Iorque (Monocots V), foi marcante a representatividade dos brasileiros, mostrando o efetivo crescimento das pesquisas em monocotiledôneas nos últimos anos no país. A participação maciça da equipe brasileira neste evento, além dos trabalhos de excelente qualidade apresentados, trouxe a indicação do Brasil para sede do próximo Congresso de Monocotiledôneas (Monocots VI), que será em 2018 em Natal, Rio Grande do Norte.

Este novo panorama das pesquisas em monocotiledôneas no Brasil já é destacado pela comunidade científica internacional, como relatado por Fay (2014), que expressou o bom ano para o estudo das monocotiledôneas, com ênfase para o Brasil. O desenvolvimento das pesquisas no país focadas na ordem Poales é expresso através dos inúmeros artigos científicos, dissertações e teses defendidas, levantamentos florísticos, estudos de revisão genérica, estudos morfológicos, anatômicos, palinológicos, de genética de populações e filogenia, dentre outros. Os trabalhos têm sido publicados nas melhores revistas da área e apresentados em diversos eventos. Uma demonstração do estado da arte na pesquisa em monocotiledôneas, com destaque para as famílias Bromeliaceae, Xyridaceae, Eriocaulaceae e Cyperaceae, é o objetivo desta Mesa Redonda que visa, também, estimular novos alunos e pesquisadores para se iniciarem em estudos em monocotiledôneas, bem como apresentar um pouco da diversidade e sistemática das famílias, trazendo novas perspectivas para pesquisas colaborativas entre os pesquisadores da América Latina.

Exemplos de espécies relevantes de Poales (Bromeliaceae, Xyridaceae, Eriocaulaceae e Cyperaceae) são apresentadas nas Figuras: 1, A-M.

## Avanços e perspectivas dos estudos sistemáticos das Bromeliaceae

Bromeliaceae inclui cerca de 58 gêneros e 3200 espécies, que se distribuem do leste do estado da Virginia ao Texas nos EUA, por toda a América Central, Índias Ocidentais e América do Sul até à Patagônia e entre a costa do Brasil e as ilhas de Juan Fernández, a cerca de 500 km a oeste da costa do Chile. A única exceção a essa distribuição estritamente americana é registrada pela espécie *Pitcairnia feliciana* (A. Chevalier) Harms & Mildbraed na costa oeste do continente africano, na Guiné, disjunção atribuída a uma dispersão a longa distância recente (Cronquist 1981, Givnish *et al.* 2011).

Em virtude de ser facilmente reconhecida e bastante distinta das demais monocotiledôneas, Bromeliaceae já foi considerada uma família isolada e de relacionamento incerto, classificada por

alguns autores na ordem Bromeliales (Cronquist 1981; Judd *et al.* 1999). No que se refere aos seus parentes mais próximos com base morfológica, a família já foi relacionada a grupos díspares, tais como Agavaceae, Velloziaceae, Zingiberales, sem se chegar a um consenso.

Entre as características que fazem Bromeliaceae ser tão singular, incluem-se as folhas alternado-espinaladas que formam uma roseta, a predominância da forma de vida epífita, a presença de escamas foliares especializadas à absorção de umidade e nutrientes, os estigmas espiral-conduplicados e o número básico de cromossomos ( $x=25$ ), podendo as duas últimas características variar entre os diferentes gêneros (Cronquist 1981, Dahlgren & Rasmussen 1983). Algumas dessas características, como a roseta e as escamas absorptivas, associadas à fotossíntese do tipo CAM, são consideradas inovações-chave para o processo de diversificação ou radiação adaptativa e colonização de ampla gama de ambientes (Silvestro *et al.* 2013; Givnish *et al.* 2014).

Nos trabalhos de filogenia mais recentes, que utilizam dados moleculares, Bromeliaceae é sempre considerada monofilética (Givnish *et al.* 2011) e integra a ordem Poales (APG III 2009; Bouche-nak-Khelladi *et al.* 2014). Os parentescos de Bromeliaceae com os demais membros das Poales ainda são motivos de controvérsia, porém a presença de nectários septais e de flores epíginas a difere das demais famílias dessa ordem (Sajo *et al.* 2004).

Para Bremer (2000), o grupo-irmão de Bromeliaceae seria Rapateaceae, relacionamento já proposto por autores do início do séc. XX. Outros trabalhos (Bremer 2002; Givnish *et al.* 2011; Bouche-nak-Khelladi *et al.* 2014), incluindo o mais recente sobre a ordem, apontam para Typhaceae. Entretanto, hipóteses diferentes encontram-se na literatura (e.g. Chase *et al.* 2005), nas quais Bromeliaceae seria a primeira família a emergir isoladamente no clado Poales, seguida por Typhaceae e Rapateaceae. Todas as evidências indicam um posicionamento basal para Bromeliaceae, que juntamente com Typhaceae e Rapateaceae constituem um grado denominado Poales basais com idade estimada de diversificação entre 110 a 80 m.a. (Bremer 2000; Linder & Rudall 2005). A família se divide em oito subfamílias, sendo as mais antigas restritas ao Planalto das Guianas, região tida como o centro de origem das bromélias (Givnish *et al.* 2011, 2014).

Quanto a importância econômica e usos, algumas espécies podem ser citadas, como o *Ananas comosus* (L.) Merrill, o popular abacaxi, fonte de frutos e também de enzimas proteolíticas, a bromelina, que é extraída do pedúnculo e utilizada na indústria farmacêutica e de alimentos. Também são reportadas para o abacaxi propriedades medicinais, como anti-helmíntico e estomático, sendo preparados sucos ou vinhos a partir dos frutos. *Neoglaziovia variegata* (Arruda) Câmara, conhecido como caroá, assim como *Ananas* spp. (especialmente o carauá) e *Tillandsia usneoides* L. (crina vegetal) são empregadas como fontes de fibras naturais (Mez 1894), e usadas ainda hoje na fabricação de esponjas e cordas.

O interesse pela horticultura das Bromeliaceae é secular (Mez 1894). Atualmente, em todo o mundo várias espécies de bromélias são colecionadas como plantas ornamentais, existindo numerosas associações que congregam aficionados. São empregadas como plantas de vaso, jardins e, em pequena escala, são cultivadas como flores de corte.

Bromeliaceae tem grande importância biológica devido as suas amplas interações ecológicas, onde participam como espécies-chave. As espécies da família fornecem néctar volumoso e concentrado para muitas espécies de beija-flores e criam micro-ambientes mais propícios ao estabelecimento e crescimento de outras espécies vegetais, sendo então chamadas de “nurse-plants” (revisão em Benzing 2000). Grande parte das espécies apresenta fitotelma (tanque), uma cavidade formada em virtude da sobreposição das bainhas foliares imbricadas que, quando preenchido pela água das chuvas e colonizado por organismos aquáticos, recebe o nome de fitotelmata. Tais fitotelmatas disponibilizam água e nutrientes para outros organismos, muitas vezes vertebrados, nos dosséis das florestas tropicais, assim como em ambientes xéricos, como campos rupestres, inselbergs e restingas. Deste modo, muitas vezes as bromélias são consideradas amplificadoras da biodiversidade,

não sendo raro encontrar publicações recentes onde dezenas de novas espécies de organismos são descritas a partir de um inventário mais detalhado dos fitotelmatas (Benzing 2000).

Bromeliaceae caracteriza-se por reunir plantas herbáceas, raras vezes com porte arborecente ou arbustivo (espécies dos gêneros *Puya* e *Deuterocohnia*), predominantemente epífitas, mas também rupícolas ou terrícolas, com caules geralmente rizomatosos e pouco desenvolvidos, folhas alternas, espiraladas, recobertas por tricomas especializados (escamas foliares, escamas peltadas, tricomas peltados, pelos epidérmicos modificados), em geral formando uma roseta (Cronquist 1981; Dahlgren & Rasmussen 1983).

O número básico de cromossomos ( $x = 25$ ) é relativamente constante nas três subfamílias constituindo uma sinapomorfia de Bromeliaceae, porém também há registros de poliplóides e aneuploiplóides.

São citadas como potenciais sinapomorfias morfológicas da família a presença de escamas foliares e de estigmas do tipo conduplicado-espiralados. Os membros da família são adaptados à polinização por vertebrados, através de copiosa produção de néctar. São polinizados por aves (predominantemente beija-flores, Trochilidae), morcegos, insetos (principalmente Hymenoptera ou Lepidoptera) ou pelo vento.

O Brasil se destaca por ser um dos centros de diversidade de Bromeliaceae, sendo referidos 44 gêneros (20 deles endêmicos) e 1318 espécies das quais, 1159 endêmicas (Forzza *et al.* 2014). A mata atlântica é um grande celeiro de novos táxons e abriga diversos gêneros endêmicos, com destaque para os da subfamília Bromelioideae, além de *Vriesea* (Tillandsioideae). A literatura também destaca que estudos com a conservação das espécies, especialmente na mata atlântica são necessários, uma vez que muitas sofrem com acelerada perda de habitat e extrativismo. Cerca de 40% das bromélias da mata atlântica se enquadram em alguma categoria de ameaça e essa situação certamente está associada ao conhecimento parcial das distribuições dos táxons, muitas vezes com poucos exemplares em herbários, podendo tal porcentagem estar subestimada (Martinelli *et al.* 2008). Análises que busquem compreender os fatores ecológicos que governam a distribuição de bromélias ou a modelagem de nicho são campos interessantes para pesquisa, ainda pouco explorados.

A partir de uma análise da produção de artigos científicos dos sistematas de Bromeliaceae brasileiros, listados no Index Herbariorum, algumas considerações podem ser feitas, com o intuito de orientar aqueles que buscam se iniciar nas pesquisas no grupo. Verifica-se que artigos sobre filogenia de Bromeliaceae desenvolvidos como parte de dissertações ou teses, envolveram, inicialmente, apenas dados morfológicos sendo, posteriormente, incluídos dados moleculares. Mesmo sendo o país com maior número de táxons da família, e já com vários doutores pesquisando, a participação de autores brasileiros em artigos que busquem reconstruir a filogenia das Bromeliaceae é ainda restrita, e geralmente esses trabalhos abordam poucos gêneros ou grupos de espécies. Nenhum dos artigos publicados por grandes grupos de pesquisa que investigaram as macro-relações no nível de subfamílias incluem autores brasileiros.

A realização de filogenias utilizando dados moleculares no Brasil ainda esbarra nas dificuldades metodológicas, como a baixa variabilidade do genoma do cloroplasto das Bromeliaceae, o que requer o investimento de tempo em pesquisas e otimização de procedimentos de amplificação de *loci* do genoma nuclear (e.g. Versieux *et al.* 2012; Louzada *et al.* 2014) e nos custos de execução, que muitas vezes excedem o valor disponível para uma pesquisa de pós-graduação.

As pesquisas atuais (e perspectivas) em nível de pós-graduação associadas à sistemática de Bromeliaceae envolvem especialmente a resolução de pequenos complexos de espécies, adotando uma abordagem que exceda a taxonomia alfa e aproxime-se da biosistemática. Com a tradicional realização de projetos envolvendo revisão + filogenia ao longo das últimas décadas, observa-se hoje poucos gêneros pequenos disponíveis para estudo. Porém, muito trabalho existe a ser feito em grandes gêneros (e.g. testando a classificação infragenérica, resolvendo complexos de espécies, apresen-

tando chaves, ilustrações e mapas atualizados, etc.) especialmente em *Aechmea*, *Cryptanthus*, *Dyckia*, *Hoehenbergia*, *Neoregelia* e *Vriesea*. Investigações sobre a genética de populações, filogeografia e biologia reprodutiva são campos em expansão e com muito potencial para se compreender melhor os processos microevolutivos no grupo (e.g. Palma-Silva *et al.* 2011). Considerando-se o processo de radiação adaptativa pelo qual as bromélias passaram, um campo de pesquisas recente e muito interessante é buscar compreender o papel de cada característica morfo-, fisio- ou ecológica na evolução da família (Silvestro *et al.* 2013; Givnish *et al.* 2014).

Tendo em vista a grande extensão territorial do Brasil e o pequeno número de amostras da família depositada nos herbários, trabalhos que envolvem a realização de inventários ou de floras locais ainda são um tema recorrente de orientações e bons candidatos a projetos de Iniciação Científica, mestrado e, em alguns casos, até mesmo doutorado. A análise das coleções dos herbários disponíveis no *SpeciesLink* (<http://splink.cria.org.br/>) também indica a importância de se persistir nos estudos florísticos, já que apenas 10 herbários possuem mais de 1000 exsicatas de bromélias nos seus *acervos* e a grande maioria possui menos de 500 espécimes.

## Avanços e perspectivas dos estudos sistemáticos em Xyridaceae

Xyridaceae compreende cinco gêneros: *Xyris* (ca. 400 spp.), *Abolboda* (ca. 23 spp.), *Orectanthe* (duas espécies) e os gêneros monoespecíficos *Aratitiopea* e *Achlyphila*. Os seus representantes possuem em geral aspecto graminiforme, habitando solos oligotróficos e ácidos, sazonalmente ou permanentemente alagados e com baixa disponibilidade de nutrientes. Em algumas espécies do cerrado são observadas adaptações contra o fogo e ao estresse hídrico, representadas pela presença de rizomas robustos protegidos pelas bainhas foliares e brotação vegetativa.

Xyridaceae apresenta maior concentração de espécies nas regiões tropicais e subtropicais, com menor ocorrência nas áreas temperadas das Américas, Ásia e Austrália (*Xyris*). Os principais centros de diversidade da família são a Cadeia do Espinhaço no Brasil, e o Maciço das Guianas, no norte da América do Sul. Os gêneros *Achlyphila*, *Aratitiopea* e *Orectanthe* são exclusivamente neotropicais, com predomínio das espécies na Venezuela, estendendo-se à Amazônia brasileira (Kral 1998; Campbell 2004; Wanderley 2011; Wanderley *et al.* 2014). Apenas *Achlyphila* ainda não possui registro para o Brasil, onde são registradas cerca de 183 espécies, das quais 133 são endêmicas (Wanderley *et al.* 2014). A grande concentração de espécies brasileiras ocorre no bioma cerrado que engloba os campos rupestres, onde são registradas cerca de 118 espécies da família, e algumas espécies do gênero *Xyris*, conhecidas popularmente também como “sempre-vivas”, juntamente com de outras famílias da ordem Poales, Eriocaulaceae, Rapateaceae, Poaceae e Cyperaceae são comercializadas para decoração de interiores (Giulietti *et al.* 1996).

Apesar da intensificação de coletas nas diferentes regiões do Brasil, ocorrem áreas que são pouco amostradas para a família, com muitas lacunas de registros, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste. Na Amazônia, são referidas até o momento 62 espécies, sendo algumas consideradas como endêmicas, como por exemplo *Abolboda abbreviata* Malme e *A. grandis* Griseb. No Centro-Oeste, *Abolboda poarchon* Seubert, *Xyris stenocephala* Malme, *X. fallax* Malme, *X. macrocephala* Vahl e *X. tortula* Mart. são espécies típicas das veredas do Brasil Central, tipo de vegetação facilmente reconhecido, pela presença abundante de buritizais. O difícil acesso às veredas se deve aos solos encharcados, pelo acúmulo de água na estação chuvosa, e a frequência de herbáceas altas, especialmente de gramíneas e ciperáceas. Na Cadeia do Espinhaço, local de alta diversidade de *Xyris*, é frequente a ocorrência de complexos morfológicos, que são espécies afins e que vivem simpatricamente. Dentre outros pode ser destacado o grupo formado por *Xyris trachyphylla* Mart., muito relacionada a *X.*



*longiscapa* L.A. Nilsson, *X. itatiayensis* (Malme) Wand. & Sajo, *X. obtusiuscula* L.A. Nilsson, *X. celiae* L.B. Sm. & Downs, *X. diamantinae* Malme e *X. graminosa* Pohl ex Mart. Esse grupo caracteriza-se essencialmente pela presença de placentação central-livre e sépalas unidas, além de outros caracteres que mostram fortes indícios do parentesco entre os componentes do complexo. Observa-se aí, naturalmente, indivíduos intermediários entre as espécies, considerados como possíveis híbridos naturais, tornando a identificação ao nível específico bastante complexa (Wanderley 2011, 2012). Outro grupo complexo é formado por *Xyris hystrix* Seubert e mais cinco espécies, caracterizadas pelo porte robusto, com espigas vistosas e multifloras, sendo por isso utilizadas como “sempre-vivas”. Esse complexo vem sendo estudado nos últimos anos e provavelmente será reconhecido como uma nova seção dentro do gênero (Wanderley 2012).

Para a identificação das espécies de *Xyris*, além dos caracteres florais, principalmente fusão das sépalas e tipo de placentação, são utilizados caracteres vegetativos, tais como a cor da folha, rugulosidade da superfície foliar e do pedúnculo, forma da lâmina foliar e pilosidade, entre outros. Porém, muitas vezes ocorrem variações intra- e interespecífica, com a possibilidade de formação de híbridos naturais entre espécies mais relacionadas. Está em andamento o estudo populacional de alguns complexos de espécies em *Xyris* e, além dos já mencionados, deve ser destacado o de *X. rigida* Kunth e outras espécies próximas. Certamente, tais estudos contribuirão para a taxonomia do gênero *Xyris*, cujos problemas taxonômicos já foram destacados por vários autores de séculos passados como Nilsson (1892) e Malme (1913, 1933).

Para o avanço dos estudos em Xyridaceae é imprescindível a continuidade da formação de mestres e doutores e parcerias com diferentes pesquisadores, procurando integrar a taxonomia clássica à anatomia, palinologia e filogenia. Com essa integração e atividades de campo tem havido um avanço notório nos últimos anos, e espera-se atingir a meta maior, que é a de realizar as revisões genéricas das espécies brasileiras de *Xyris* e *Abolboda*. Para o estudo taxonômico e florístico das espécies brasileiras de *Xyris*, vem sendo utilizada a estratégia de realização de levantamentos florísticos nas diferentes regiões do país. Dissertações foram concluídas ou em estão em andamento, em unidades de conservação na Cadeia do Espinhaço de Minas Gerais e Bahia, e nas regiões Sul e Norte do país, trazendo informações valiosas sobre a diversidade e taxonomia da família. No momento, está em andamento a preparação da lista das Xyridaceae da Cadeia do Espinhaço de Minas Gerais e Bahia, com base em uma amostragem bem representativa dos acervos dos herbários brasileiros. Outra meta a ser atingida em curto prazo é a flora das Xyridaceae do Brasil, contribuindo para o projeto Flora do Brasil. Estudos com dados moleculares estão em andamento e resultados ainda inéditos já apontam para uma possível nova circunscrição das Seções propostas por Malme (1913, 1933), Smith & Downs (1968) e enfatizados por Wanderley (2012).

## Avanços e perspectivas dos estudos sistemáticos em Eriocaulaceae

Eriocaulaceae é facilmente reconhecível dentro das monocotiledôneas pelas inflorescências em capítulos e constitui um grupo monofilético (Givnish *et al.* 1999; Bremer 2002; Davis *et al.* 2004). Além da presença de capítulos, são sinapomorfias da família a presença de flores unissexuadas em capítulos bissexuados, ovários com um óvulo pêndulo por carpelo e pólen espiraperturado. Além disso, é muito frequente o hábito em roseta, formado pelas folhas de disposição espirodística em um caule curto (Giulietti *et al.* 2012). A família agrupa cerca de 1400 espécies em 10 gêneros, de distribuição principalmente tropical, em duas subfamílias, ambas monofiléticas (Andrade *et al.* 2010; Giulietti *et al.* 2012): Eriocauloideae, incluindo os gêneros *Eriocaulon* e *Mesanthemum*, e Paepalanthoideae, com os demais gêneros. Eriocauloideae diversificou-se principalmente na Ásia, Oceania e África, ao passo que Paepalanthoideae é a subfamília mais diversificada nos Neotrópicos, com dois centros

de diversidade (Giulietti & Hensold 1990): na Cadeia do Espinhaço no Sudeste do Brasil (Costa *et al.* 2008) e no Escudo das Guianas, mais particularmente nos Tepuis entre Brasil, Venezuela e Guiana. Em ambos os centros, a maior diversidade concentra-se nos campos rupestres quartzíticos. No Brasil, 657 espécies são registradas, em oito gêneros (apenas *Lachnocaulon* e *Mesanthemum* não estão presentes), das quais 549 (83%) são endêmicas do país (Giulietti *et al.*, atualizado continuamente).

Na Cadeia do Espinhaço em Minas Gerais e Bahia e também em campos rupestres de Goiás, espécies de Eriocaulaceae são comercializadas como Sempre-vivas. Tratam-se de inflorescências secas, que guardam a aparência de vivas por muitos anos e são usadas em arranjos decorativos. O centro do comércio é a cidade de Diamantina, região onde a maior quantidade de espécies e volume é comercializado, de onde a maior parte da mercadoria parte para outras regiões do Brasil e do mundo (Giulietti *et al.*, 1996). Além de Eriocaulaceae, espécies de Xyridaceae, Cyperaceae e de outras famílias menos representativas também são comercializadas sob o nome genérico de Sempre-viva. Porém, em um sentido mais restrito, as Sempre-vivas pertencem ao gênero *Comanthera* (Eriocaulaceae) e correspondem ao maior volume comercializado. O comércio de Sempre-vivas baseia-se quase que exclusivamente no extrativismo, pois as práticas de cultivo ainda são incipientes. De fato, práticas de cultivo *in situ* tem se mostrado bem sucedidas, porém técnicas de cultivo *ex situ* ainda precisam ser aprimoradas para que seja rentável comercialmente.

O período putativo de origem da família é o Cretáceo e o das subfamílias, o Paleoceno (aproximadamente 100 e 65 m.a. respectivamente) (Bremer 2002; Janssen & Bremer 2004; Bremer & Janssen 2006; Bouchenak-Khelladi *et al.* 2014). A conexão trans-Antártica que perdurou até aproximadamente 35 m.a. pode ter uma influência no padrão de diversificação das subfamílias (Bremer 2002). A grande diversidade de espécies que observamos hoje, porém, parece ter uma origem relativamente recente, possivelmente resultantes de diversificações no Mioceno e Plioceno (Bouchenak-Khelladi *et al.* 2014; Silva 2014). A proximidade das sequências moleculares entre espécies dentro dos gêneros sugere processos de radiação recente nos campos rupestres (Echternacht *et al.* 2014; Trovó *et al.* 2013; Silva 2014). Na Cadeia do Espinhaço, há a formação de clados mineiros e baianos, sendo que espécies ocorrentes nas restingas em geral derivam de linhagens da Cadeia do Espinhaço, com um sinal latitudinal possivelmente relacionado a bacias hidrográficas (Echternacht *et al.* 2014; Trovó *et al.* 2013; Silva 2014).

Dentro de Paepalanthoideae, hipóteses filogenéticas confirmam a monofilia dos gêneros *Comanthera*, *Syngonanthus* (incl. *Philodice*; Giulietti *et al.* 2012) e *Leiothrix*, sendo que os dois primeiros formam um clado irmão do terceiro (Echternacht *et al.* 2014). A monofilia de *Actinocephalus sensu* Costa & Sano (2013) foi confirmada; *Tonina* é um gênero monoespecífico; e a monofilia de *Lachnocaulon* precisa ser testada (Andrade *et al.* 2010; Trovó *et al.* 2013). *Paepalanthus* (incluindo *Bastocaulon*, Andrade *et al.* 2011), é o maior gênero, e aparece parafilético nas análises, incluindo *Actinocephalus*, *Lachnocaulon* e *Tonina* (Andrade *et al.* 2010; Trovó *et al.* 2013). Porém, para tornar a nomenclatura congruente com a filogenia, são necessárias hipóteses filogenéticas mais robustas em *Paepalanthus*, através de uma amostragem mais representativa (Trovó *et al.* 2013).

Nas flores encontram-se as principais sinapomorfias dos grandes clados neotropicais, notadamente no número de peças e no tamanho relativo dos verticilos florais, nas ramificações do gineceu, no grau de fusão das sépalas, pétalas e dos apêndices do gineceu, no número de esporângios e inserção das anteras no filete. Além disso, características fitoquímicas (Ricci *et al.* 1996), anatômicas (p.e. Scatena *et al.* 2005), de arquitetura (Trovó *et al.* 2010; Stützel & Trovó 2013) e de escultura das sementes (Barreto *et al.* 2013) e do pólen (Borges *et al.* 2009) também revelam boas sinapomorfias. Giulietti e colaboradores (2012) proveram uma síntese das sinapomorfias putativas e caracteres diagnósticos de cada gênero.

As futuras abordagens dos estudos sistemáticos na família considerando as linhagens neotropicais, em Paepalanthoideae, deverão focar em uma maior amostragem específica, principalmente

de *Paepalanthus*, que é o maior gênero do Brasil (Giulietti *et al.*, 2010). O melhor conhecimento das relações filogenéticas dentro de Paepalanthoideae requer a inclusão de representantes de áreas e de linhagens pouco amostradas. Será fundamental a inclusão de táxons dos Tepuis, principalmente, pois nessas áreas há espécies com características raras, como por exemplo, flores bissexuais e estaminódios desenvolvidos. Assim como em Bromeliaceae, em Eriocaulaceae os táxons do Escudo das Guianas aparecem como linhagem que divergiram mais cedo na história da subfamília (Trovó *et al.*, 2013; Echternacht *et al.*, 2014). Além disso, uma amostragem mais representativa de *Paepalanthus* ser. *Paepalanthus*, o maior táxon infra-genérico, será fundamental para esclarecer as relações dentro do gênero.

Para que a sistemática avance, a taxonomia e a filogenética precisam avançar em congruência. Aproximadamente 35% dos táxons foram revisados taxonomicamente nas últimas décadas (Costa 2005, Echternacht 2012, Giulietti 1984, Hensold 1988, Sano 1999, Tissot-Squalli 1997, Trovó 2010). Os cerca de 65% remanescentes não foram revisados há mais de um século. Dessa forma, há uma grande inconsistência taxonômica que dificulta a identificação das espécies. Além das chaves de identificação providas nas revisões taxonômicas, há chaves interativas disponíveis para os gêneros e para as espécies comercializadas como Sempre-vivas em Minas Gerais (<http://www.icb.ufmg.br/cha-veonline/>). Devemos encorajar, dessa forma, que as revisões taxonômicas venham acompanhadas de chaves interativas, a fim de favorecer a identificação por não taxonomistas. Dessa forma, devem ser estimulados trabalhos de revisão, como parte de dissertações de mestrado e teses de doutorado. Uma taxonomia consistente e estável é fundamental as inferências subseqüentes em sistemática e o desenvolvimento de trabalhos multidisciplinares.

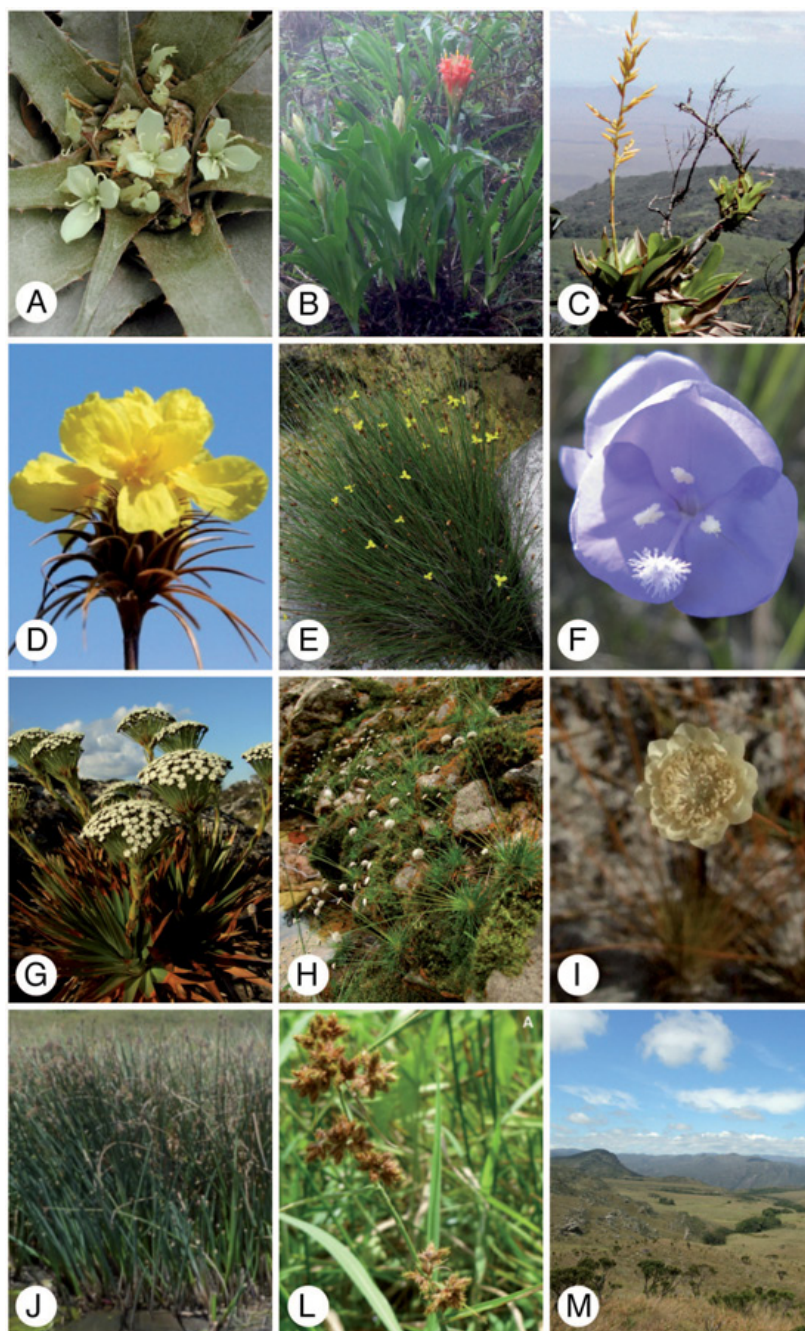
Muitas áreas são pouco amostradas e é frequente a descoberta de novas espécies. Nos últimos 10 anos, 30 espécies novas foram descritas, todas elas ameaçadas de extinção de acordo com os critérios da IUCN (2011). O microendemismo da maioria das espécies, associado à perda de hábitat e em alguns casos ao extrativismo, agrava o estado de ameaça. O Plano de Ação Nacional para Conservação de Eriocaulaceae (PAN Sempre-vivas; MMA & ICMBio, Portaria nº22, de 17 de fevereiro de 2012), com o objetivo de promover e coordenar ações prioritárias para conservação, definiu cinco objetivos a serem alcançados através de 54 ações prioritárias até 2017. É imprescindível o estabelecimento de políticas públicas específicas para a conservação dos campos rupestres, de outra forma poderemos observar nas próximas décadas uma perda sem precedentes de biodiversidade, principalmente em Eriocaulaceae, uma família extremamente diversificada nesse ecossistema.

## Avanços e perspectivas dos estudos sistemáticos em Cyperaceae

Considerada a terceira maior família entre as monocotiledôneas, as Cyperaceae são caracterizadas pela presença de espiguetas como unidade básica da inflorescência (Eiten 1976), ovário súpero com 2-3 carpelos, 1 lóculo, 1 óvulo, fruto do tipo aquênio (Thomas 1984; Luceño *et al.* 1997) e corpos silicosos cônicos e característicos, que a distingue de todas as monocotiledôneas (Judd *et al.* 2009).

É uma família bem distribuída, encontrada geralmente associada às formações vegetais mal drenadas, como brejos, pântanos, charcos, margens de rios e corpos d'água, inclusive caracterizando ecossistemas aquáticos (Gil & Bove 2007; Ferreira & Eggers 2007). Apesar de muitas espécies serem encontradas preferencialmente neste tipo de ambiente, algumas espécies ocorrem em florestas e outros habitats mais secos (Govaerts *et al.* 2007; Guaglianone *et al.* 2008).

Das 5.400 espécies descritas em 106 gêneros (Govaerts *et al.* 2007), 43 gêneros e aproximadamente 1.000 espécies ocorrem nos Neotrópicos, região que juntamente com a África constituem os principais centros de diversidade da família (Goetghebeur 1998). Para o Brasil Alves *et al.* (2009)



**Figura 1.** Poales: diversidade e exemplos de espécies relevantes de Bromeliaceae, Xyridaceae, Eriocaulaceae e Cyperaceae. **A-C.** Bromeliaceae. **A.** Bromelioideae, *Cryptanthus leopoldhorstii* Rauh, espécie rupícola, endêmica dos campos rupestres do Planalto de Diamantina, Minas Gerais. **B.** Pitcairnioideae, *Pitcairnia billbergioides* L.B. Sm., rara e restrita aos bosques nublados do Peru, espécies desse gênero são popularmente chamadas de “bromélias-capim”. **C.** Tillandsioideae, *Vriesea baturitensis* Versieux & Tomaz, epífita ornitófila, endêmica dos brejos de altitude do Ceará. **D-E.** Xyridaceae. **D.** *Xyris spinulosa* Kral & L.B. Sm. na Serra do Cipó, Minas Gerais, espécie endêmica da Cadeia do Espinhaço. **E.** *Xyris cipoensis* L.B. Sm., espécie endêmica da Serra do Cipó, Minas Gerais, popularmente conhecida como sempre-viva. **F.** *Abolboda macrostachya* Spruce ex Malme, Parque Nacional do Viruá. **G-I.** Eriocaulaceae. **G.** *Actinocephalus robustus* (Silveira) Sano, espécie endêmica da Serra do Cipó, na Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais. **H.** *Paepalanthus* sp., uma das espécies de *P.* ser. *Paepalanthus*, que necessita de mais estudos sistemáticos. **I.** *Comanthera elegans* (Bong.) L.R.Parra & Giul., espécie popularmente conhecida como sempre-viva *sensu stricto*, endêmica da Cadeia do Espinhaço Meridional e norte da Serra do Cipó. **J-L.** Cyperaceae. **J.** *Cyperus articulatus* L. **L.** *Fuirena umbellata* Rottb. **M.** Paisagem dos campos rupestres, na Cadeia do Espinhaço em Minas Gerais, ambiente rico em Poales (Fotos: A-C - L.M. Versieux; D - A. Santos; E - M.G.L. Wanderley; F - S.M. Costa.; G-I e M - L. Echternacht; J-L - A. Prata)

catalogaram 678 espécies, agrupadas em 42 gêneros, representando quase 20% das espécies e 40% dos gêneros da família.

Goetghebeur (1998) reconhece quatro subfamílias em Cyperaceae. Porém, análises filogenéticas recentes tem mostrado a família como monofilética, incluindo apenas duas subfamílias: Mapanioideae e Cyperoideae (= Cyperoideae + Sclerioideae + Caricoideae) (Bruhl 1995; Muasya *et al.* 1998; Simpson *et al.* 2007; Simpson *et al.* 2008).

Cyperaceae subfam. Cyperoideae é a mais diversa e seus membros possuem a espiguetas como unidade da inflorescência, incluindo flores unissexuadas ou bissexuadas (*Androtrichum*, *Ascolepis*, *Beckuerelia*, *Bisboeckelera*, *Bulbostylis*, *Calyptrocarya*, *Carex*, *Cephalocarpus*, *Cladium*, *Cyperus*, *Didimandrum*, *Diplacrum*, *Egleria*, *Eleocharis*, *Everardia*, *Exochogyne*, *Fimbristylis*, *Fuirena*, *Kyllinga*, *Lagenocarpus*, *Lipocarpha*, *Oreobolus*, *Pleurostachys*, *Remirea*, *Rhynchospora*, *Scirpus*, *Scleria*, *Trilepis*, *Uncinia*). A subfamília Mapanioideae inclui as espécies que apresentam o espicóide como unidade da inflorescência, com flores unissexuadas. Ambas as subfamílias são representadas no Brasil, sendo Cyperoideae é a mais diversa tanto ao nível genérico, quanto no específico (Simpson *et al.* 2007; 2008; Alves *et al.* 2009).

A origem de Cyperaceae é reportada para o Cretáceo (cerca de 83,2 m.a.) e o de Mapanioideae para o Eoceno Médio (40 m.a.) (Bouchenak-Khelladi *et al.* 2014). Os autores destacam que uma adaptação a ambientes alagados ocorreu entre o Eoceno Inferior e o Oligoceno Superior (entre 55 e 23 m.a.) para ancestrais de um clado incluindo as tribos Abildgaardieae, Cariceae, Cypereae, Eleocharideae e Scirpeae. Além disso, a readaptação a habitats abertos e o aparecimento de mecanismos de concentração de CO<sub>2</sub> em Abildgaardieae e Cypereae ocorreram entre o Oligoceno e o Mioceno Inferior (entre 18 e 34 m.a.).

O clado Abildgaardieae é uma linhagem tropical diversa com cerca de 520 espécies reconhecidas (Govaerts *et al.* 2007; Muasya *et al.* 2009) e uma das linhagens menos estudada em Cyperaceae.

## Referências

- Andrade, M.J.G., Giulietti, A.M., Harley, R.M., & van den Berg, C. 2011. *Blastocaulon* (Eriocaulaceae), a synonym of *Paepalanthus*: Morphological and molecular evidence. **Taxon** **60**: 178–184.
- Andrade, M.J.G., Giulietti, A.M., Rapini, A., Queiroz, L.P.De, Conceição, A. D. S., Almeida, P. R. M. de, & van den Berg, C. 2010. A comprehensive phylogenetic analysis of Eriocaulaceae: Evidence from nuclear (ITS) and plastid (*psbA-trnH* and *trnL-F*) DNA sequences. **Taxon** **59**: 379–388.
- APGIII. 2009. An updated of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. **Botanical Journal of the Linnean Society** **161**: 105–121.
- Aona, L. 2009. Neotropical Mayacaceae. In: Milliken, W. Kligard, B. & Baracat, A. **Neotropikey – Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics**. Disponível em: [www.kew.org/neotropikey](http://www.kew.org/neotropikey). Acessado em 25 mai. 2014.
- Barreto, L.C., Echternacht, L. & Garcia, Q.S. 2013. Seed coat sculpture in *Comanthera* (Eriocaulaceae) and its implications on taxonomy and phylogenetics. **Plant Systematics and Evolution** **299**: 1461–1469.
- Benzing, D.H. 2000. Ecology. Pp. 329–404. In: Benzing, D.H., (Ed). **Bromeliaceae: profile of an adaptive radiation**. Cambridge, Cambridge University Press.
- Borges, R.L.B. de, Santos, F.A.R. & Giulietti, A.M. 2009. Comparative pollen morphology and taxonomic considerations in Eriocaulaceae. **Review of Palaeobotany and Palynology** **154**: 91–105.
- Bouchenak-Khelladi, Y., Muasya, A.M. & Linder, A.P. 2014. A revised evolutionary history of Poales: origins and diversification. **Botanical Journal of the Linnean Society** **175**: 4–16.
- Bremer, K. 2000. Early Cretaceous lineages of monocot flowering plants. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America** **97**: 4707–4711.
- Bremer, K. 2002. Gondwanan Evolution of the Grass Alliance of Families (Poales). **Evolution** **56**: 1374–1387.

- Bremer, K., & Janssen, T. 2006. Gondwanan origin of major monocot groups inferred from dispersal-vicariance analysis. **Aliso** **22**: 22–27.
- Campbell, L.M. 2004. **Anatomy and systematics of Xyridaceae, with special reference to Aratitiopea Steyererm. & P.E. Berry.** City University of New York, New York, p. 1-182.
- Chase, M.W.; Fay, M.F.; Devey, D.S.; Maurin, O.; Ronsted, N.; Davies, T.J.; Pillon, Y.; Petersen, G.; Seberg, O.; Tamura, M.N.; Asmussen, C.B.; Hilu, K.; Borsch, T.; Davis, J.L.; Steverson, D.W.; Pires, J.C.; Givnish, T.J.; Sytsma, K.J.; McPherson, M.A.; Graham, S.W. & Rai, H.S. 2005. Multigene analyses of monocot relationships: a summary. **Aliso** **22**: 63-75.
- Costa, F.N. 2005. **Recircunscrição de Actinocephalus (Koern.) Sano (Eriocaulaceae).** Ph.D. Thesis. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Costa, F.N., & Sano, P.T. 2013. New Circumscription of the Endemic Brazilian Genus *Actinocephalus* (Eriocaulaceae). **Novon** **22**: 281–287.
- Costa, F.N., Trovó, M., & Sano, P.T. 2008. Eriocaulaceae na Cadeia do Espinhaço: riqueza, endemismo e ameaças. **Megadiversidade** **4**: 117–125.
- Cronquist, A. 1981. **An integrated system of classification of flowering plants.** Columbia University Press, New York, USA.
- Dahlgren, R.M.T. & Rasmussen, F.N. 1983. Monocotyledon evolution: characters and phylogenetic estimation. **Evolutionary Biology** **16**: 255-395.
- Davis, J.I., Stevenson, D.W., Petersen, G., Seberg, O., Campbell, L.M., Freudenstein, J.V., Goldman, D.H., Hardy, C.R., Michelangeli, F.A., Mark, P., Specht, C.D., Vergara-Silva, F., Gandolfo, M. 2004. A Phylogeny of the Monocots, as Inferred from *rbcL* and *atpA* sequence variation, and a comparison of methods for calculating Jackknife and Bootstrap Values. **Systematic Botany** **29**: 467–510.
- Echternacht, L. 2012. **Sistemática de Comanthera e de Syngonanthus (Eriocaulaceae).** Ph.D. Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Echternacht, L., Sano, P. T., Bonillo, C., Cruaud, C., Couloux, A., & Dubuisson, J.-Y. 2014. Phylogeny and taxonomy of *Syngonanthus* and *Comanthera* (Eriocaulaceae): evidence from expanded sampling. **Taxon** **63**: 47–63.
- Fay, M.F. 2014. Another good year for monocot research. **Botanical Journal of the Linnean Society** **175**:1-3.
- Forzza, R.C., Costa, A., Siqueira Filho, J.A., Martinelli, G., Monteiro, R.F., Santos- Silva, Saraiva, D.P., Paixão-Souza, B., Louzada, R.B., Versieux, L. **Bromeliaceae.** In: Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB66>. Acessado em 28 mai. 2014.
- Giulietti, A.M. 1984. **Estudos taxonômicos no gênero Leiothrix Ruhland.** Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Giulietti, A.M. & Hensold, N. 1990. Padrões de distribuição geográfica dos gêneros de Eriocaulaceae. **Acta Botânica Brasilica** **4**: 133–158.
- Giulietti, A.M., Sano, P.T., Costa, F.N., Parra, L.R., Echternacht, L., Tissot-Squali, M.L., Trovo, M., Watanabe, M.T.C., Hensold, N. & Andriano, C. **Eriocaulaceae.** In: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: [←http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB110→](http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB110). Acessado em 4 jun. 2014.
- Giulietti, A.M., Andrade, M.J.G., Scatena, V.L., Trovó, M., Coan, A.I., Sano, P.T., Santos, F.A.R., Borges, R.L.B., van den Berg, C. 2012. Molecular phylogeny, morphology and their implications for the taxonomy of Eriocaulaceae. **Rodriguésia** **63**: 1–19.
- Giulietti, A.M., Hensold, N., Parra, L.R., Andrade, M.J.G., Van den Berg, C., & Harley, R.M. 2012. The synonymization of *Philodice* in *Syngonanthus* (Eriocaulaceae). **Phytotaxa** **60**: 50–56.
- Giulietti, A.M., Wanderley, M.G. L., Longhi-Wagner, H. M., Pirani, J. R., Parra, L. R. 1996. Estudos em sempre-vivas: taxonomia com ênfase nas espécies de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **10**: 329-377.
- Givnish, T.J.; Ames, M.; McNeal, J.R.; McKain, M.R.; Steele, P.R.; dePamphilis, C.W.; Graham, S.W.; Pires, J.C.; Stevenson, D.W.; Zomlefer, W.B.; Briggs, B.G.; Duvall, M.R.; Moore, M.J.; Heaney, J.M.; Soltis, D.E.; Soltis, P.S.; Thiele, K. & Leebens-Mack, J.H. 2010. Assembling the tree of the monocotyledons: plastome sequence phylogeny and evolution of Poales. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **97**: 584-616.

- Givnish, T.J., Barfuss, M.H.J., Van Ee, B., Riina, R., Schulte, K., Horres, R., Gonsiska, P.A., Jabaily, R.S., Crayn, D.M., Smith, J.A.C., Winter, K., Brown, G.K., Evans, T.M., Holst, B.K., Luther, H., Till, W., Zizka, G., Berry, P.E., & Sytsma, K.J. 2011. Phylogeny, adaptive radiation, and historical biogeography in Bromeliaceae: Insights from an eight-locus plastid phylogeny. **American Journal of Botany** **98**: 872-895.
- Givnish, T.J., Barfuss, M.H.J., Ee, B.V., Riina, R., Schulte, K., Horres, R., Gonsiska, P.A., Jabaily, R.S., Crayn, D.M., Smith, J.A.C., Winter, K., Brown, G.K., Evans, T.M., Holst, B.K., Luther, H., Till, W., Zizka, G., Berry, P.E., & Sytsma, K.J. 2014. Adaptive radiation, correlated and contingent evolution, and net species diversification in Bromeliaceae. **Molecular Phylogenetics and Evolution** **71**: 55-78.
- Givnish, T.J., Evans, T.M., Pires, J.C., & Sytsma, K.J. 1999. Polyphyly and convergent morphological evolution in Commelinales and Commelinidae: evidence from *rbcL* sequence data. **Molecular Phylogenetics and Evolution** **12**: 360-385.
- Judd, W.S.; Campbell, C.S.; Kellogg, E.A. & Stevens, P.F. 1999. **Plant Systematics: a phylogenetic approach**. Sunderland (Massachusetts – EUA): Sinauer Associates.
- Hensold, N. 1988. Morphology and Systematics of *Paepalanthus* subgenus *Xeractis* (Eriocaulaceae). In: The American Society of Plant Taxonomists (ed.). **Systematic Botany Monographs** **23**. Michigan, USA: Ann Arbor.
- IUCN. 2011. **Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria, Version 9.0**. IUCN Standards and Petitions Subcommittee.
- Janssen, T., & Bremer, K. 2004. The age of major monocot groups inferred from 800+ *rbcL* sequences. **Botanical Journal of the Linnean Society** **146**: 385-398.
- Kral, R. 1988. The genus *Xyris* (Xyridaceae) in Venezuela and contiguous northern South America. **Annals Missouri Botanical Gardens** **75**: 522-722.
- Linder, H.P., & Rudall, P.J. 2005. Evolutionary History of Poales. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** **36**:107-124.
- Louzada, R.B., Schulte, K., Wanderley, M.G.L., Silvestro, D., Zizka, G., Barfuss, M.H.J., & Palma-Silva, C. 2014. Molecular phylogeny of the Brazilian endemic genus *Orthophytum* (Bromelioideae, Bromeliaceae) and its implications on morphological character evolution. **Molecular Phylogenetics and Evolution** **77**: 54-64.
- Malme, G.O. 1913. *Xyris* L. Untergattung *Nematopus*. **Arkiv för Botanik**. **13**(3): 1-103.
- Malme, G.O. 1933. Beitrage zur Kenntnis Der Sudamerikanischen Xyridazeen. **Arkiv Botanik. Uppsala** **25** (12): 1-18.
- Martinelli, G., Vieira, C.M., Gonzalez, M., Leitman, P., Piratininga, A., Costa, A.F., & Forzza, R.C. 2008. Bromeliaceae da mata atlântica brasileira: lista de espécies, distribuição e conservação. **Rodriguésia** **59**: 209-258.
- Mez, C. 1894. Bromeliaceae. Pp. 173-634 tabs. 151-114. In: Martius, C.F.P., Eichler, A.G., & Urban, I., (Eds). **Flora brasiliensis**. Frid. Fleischer, Lipsiae.
- Nilsson, A. 1892. Studie uber die Xyrideen. **K. Svenska Vetensk Akad. Handl.** **24**(14): 1-72.
- Oriani, A. & Scatena, V.L. 2012. Floral anatomy of xyrids (Poales): contributions to their reproductive biology, taxonomy and phylogeny. **International Journal of Plant Science** **173**: 767-779.
- Palma-Silva, C., Wendt, T., Pinheiro, F., Barbará, T., Fay, M.F., Cozzolino, S., & Lexer, C. 2011. Sympatric bromeliad species (*Pitcairnia* spp.) facilitate tests of mechanisms involved in species cohesion and reproductive isolation in Neotropical inselbergs. **Molecular Ecology** **20**:3185-3201.
- Ricci, C. V, Patrício, M. C. B., Salatino, M. L. F., Salatino, A., & Giulietti, A. M. 1996. Flavonoids of *Syngonanthus* Ruhl. (Eriocaulaceae): Taxonomic Implications. **Biochemical Systematics and Ecology** **24**: 577-583.
- Rosa, M.M., & Scatena, V.L. 2007. Floral anatomy of Paepalanthoideae (Eriocaulaceae, Poales) and their nectariferous structures. **Annals of Botany** **99**:131-139.
- Sajo, M.G.; Rudall, P.J. & Prychid, C.J. 2004. Floral anatomy of Bromeliaceae, with particular reference to the evolution of epigyny and septal nectaries in commelinid monocots. **Plant Systematics and Evolution** **247**: 215-231.
- Sano, P. T. 1999. **Revisão de Actinocephalus (Koern.) Sano - Eriocaulaceae**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.

- Scatena, V.L., Giulietti, A.M., Borba, E.L., & van den Berg, C. 2005. Anatomy of Brazilian Eriocaulaceae: correlation with taxonomy and habitat using multivariate analyses. **Plant Systematics and Evolution** **253**: 1–22.
- Silva, D.M. 2014. **Filogenia molecular de *Leiothrix* Ruhland (Eriocaulaceae) e implicações taxonômicas, morfológicas e biogeográficas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brazil.
- Silvestro, D., Zizka, G., & Schulte, K. 2013. Disentangling the effects of key innovations on the diversification of Bromelioideae (Bromeliaceae). **Evolution** **68**: 163–175.
- Smith, L.B. & Downs, R.J. 1968. Xyridaceae. In F.C. Hoehne & A.R. Teixeira (eds.) **Flora Brasílica**, 9: 2, fasc. 12, p. 1–214.
- Stützel, T., & Trovó, M. 2013. Inflorescences in Eriocaulaceae: taxonomic relevance and practical implications. **Annals of Botany** **112**: 1505–22.
- Tissot-Squalli, M. L. 1997. **Monographische Bearbeitung von *Paepalanthus* subgenus *Platycaulon***. Dissertationes Botanicae 280. Berlin: Cramer, J.
- Trovó, M. 2010. **Systematics of Paepalanthoideae (Eriocaulaceae): Phylogeny, morphology and taxonomy of *Diphyomene* (Ruhland) Trovó**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Trovó, M., Andrade, M.J.G. de, Sano, P.T., Ribeiro, P.L., & van den Berg, C. 2013. Molecular phylogenetics and biogeography of Neotropical Paepalanthoideae with emphasis on Brazilian *Paepalanthus* (Eriocaulaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society** **171**: 225–243.
- Trovó, M., Stützel, T., Scatena, V.L., & Sano, P.T. 2010. Morphology and anatomy of inflorescence and inflorescence axis in *Paepalanthus* sect. *Diphyomene* Ruhland (Eriocaulaceae, Poales) and its taxonomic implications. **Flora** **205**: 242–250.
- Versieux, L.M., Barbará, T., Wanderley, M.G.L., Calvente, A., Fay, M.F., & Lexer, C. 2012. Molecular phylogenetics of the Brazilian giant bromeliads (*Alcantarea*, Bromeliaceae): implications for morphological evolution and biogeography. **Molecular Phylogenetics and Evolution** **64**: 177–189.
- Wanderley, M.G.L., Silva, G.O., Guedes, J.S. & Mota, N.F.O. 2014. Xyridaceae. In Lista da Flora do Brasil, disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2014/>. Citado 2014 maio.
- Wanderley, M.G.L. 2011. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Xyridaceae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** **29** (1): 69–134.
- Wanderley, M.G.L. 2012. Diversidade das Xyridaceae brasileiras. In: Quadros *et al.* (org.). **Anais 63º Congresso Nacional de Botânica**. Joinville, Sttilo Assessoria Fonográfica, v. P4. p. 12–17.



# BASAL ANGIOSPERMS AND BEETLE POLLINATION

**Gerhard Gottsberger and Ilse Silberbauer-Gottsberger**

Botanical Garden and Herbarium, University of Ulm, 89081 Ulm, Germany.  
[gerhard.gottsberger@uni-ulm.de](mailto:gerhard.gottsberger@uni-ulm.de) and [ilse.silberbauer@biologie.uni-ulm.de](mailto:ilse.silberbauer@biologie.uni-ulm.de)

## Introduction

Early divergent members of the flowering plants, the “basal angiosperms”, as recognized by the Angiosperm Phylogeny Group (APG III 2009), comprise 29 families (7% of the angiosperm families). The most basal grade (called ANITA) consists of three clades: *Amborella* (Amborellales), Nymphaeales and Austrobaileyales. Further, there is the clade magnoliids, consisting of the orders Canellales, Piperales, Laurales and Magnoliales, and another order, Chloranthales, which is probably sister to the magnoliids. Based on the countings and estimates of the authors in Kubitzki *et al.* (1993), these so-called basal angiosperms in total consist of about 10,000 extant species. Several of the families have only one (e.g. Amborellaceae, Austrobaileyaceae) or two (e.g. Degeneriaceae, Eupomatiaceae) species, while others have up to twenty species (e.g. Cabombaceae, Canellaceae, Calycanthaceae), and still others have more than twenty but less than hundred species, for example Nymphaeaceae, Chloranthaceae and Winteraceae. The families Aristolochiaceae, Monimiaceae, Magnoliaceae and others have between one hundred to several hundreds of species. The three largest families of the basal angiosperms are the Annonaceae (2300–2500 species), Piperaceae (ca. 3000 spp.) and Lauraceae (2500–3500 spp.).

With respect to pollination biology, extant basal angiosperms exhibit quite remarkable diversity, having flies, thrips, beetles, moths, cockroaches and even bees as pollen vectors (e.g. Gottsberger 1974, 1977, 1988, 2012; Gottsberger *et al.* 1980; Thien 1980; Thien *et al.* 1985; Bernhardt & Thien 1987; Endress 1990, 1994, 2010). Several members are wind-pollinated or the wind is an additional vehicle besides insects. In this paper, examples of pollination by beetles (cantharophily) are given, and are to discuss the principal associations of basal angiosperm flowers with these insects. The main goal of this paper is to highlight which groups of basal angiosperms have developed beetle pollination, and to evaluate morphological, physiological and behavioral characteristics of flowers associated with this phenomenon.

## Beetle Pollination in the ANITA grade and in Chloranthales

In the hypothetically most basal angiosperm clades Amborellales, Nymphaeales, and Austrobaileyales, and in the Chloranthales, beetles are often additional pollinators alongside flies, moths, bees or the wind, which means that these early divergent angiosperms exhibit mostly a generalist pollination syndrome. Some of them have already specialized on, e.g., flies (the protogynous flowers of *Austrobaileya*; Endress 1980, 1993a) or thrips (the protogynous flowers of two *Chloranthus* species; Luo & Li 1999). The only cases of exclusive beetle pollination (cantharophily) occur in **Nymphaeaceae**. The genus *Nymphaea* has more or less large showy white, yellow, red or blue flowers, which may or

may not be scented. Most of the diurnally flowering, protogynous species from temperate regions are jointly visited and pollinated by a wide array of Diptera, Hymenoptera and Coleoptera [e.g. Robertson 1889; Knuth 1908; Schmucker 1932; Schneider & Chaney 1981; Schneider 1982a, 1982b; Capparino & Schneider 1985; Michels 1993]. The derived groups of *Nymphaea*, species of the subgenera *Lotus* and *Hydrocallis* (Borsch *et al.* 2008), are tropical, their protogynous flowers have a nocturnal anthesis with a two-night rhythm (at least in the Neotropics) and emit a strong scent. Exclusive pollinators are nocturnally active, large dynastid scarab beetles (Dynastinae, Scarabaeidae) of the genus *Cyclocephala* (Cramer *et al.* 1975; Prance & Anderson 1976; Prance 1980). There is only one representative of the mainly Neotropical group of dynastid scarab beetles occurring in Africa, *Ruteloryctes morio*, and this beetle was found to be the main pollinator (besides some bees) in *Nymphaea lotus* in Ivory Coast (Hirthe & Porembski 2003; Krell *et al.* 2003) and as an exclusive pollinator of the same *Nymphaea* species in Senegal (Ervik & Knudsen 2003). In *N. lotus* temperature elevation of the anthetic flowers was verified. Also the two Amazonian species of *Victoria*, *V. amazonia* and *V. cruziana* exhibit exclusive cantharophily. In both species, the large, protogynous flowers have a two-night rhythm and warm up (5-11 °C above the ambient air in *V. amazonica*). The dynastid beetles (*Cyclocephala hardyi* in *V. amazonica* and *Chalepides* sp. in *V. cruziana*) enter the pistillate first-night flowers and leave the staminate second-night flowers (Valla & Cirino 1972; Prance & Arias 1975; Skubatz *et al.* 1990; Kite *et al.* 1991; Lamprecht *et al.* 2002; Seymour & Matthews 2006).

## Beetle Pollination in Magnoliids

In the **Canellales**, two genera of **Winteraceae** exhibit beetle pollination. *Zygogynum s.s.* is probably late divergent among the Winteraceae (e.g. Karol *et al.* 2000). The flowers are protogynous and emit strong fruit-like odors. Its thick and leathery petals make movements during anthesis. During the first-day in the pistillate stage the outer petals extend, but the inner ones only open slightly, forming a kind of pollination chamber. Chrysomelid and curculionid beetles were found to enter the floral chamber during the first day and to leave the flowers during the second day in the staminate stage when all petals expand. An additional flower visitor was a species of *Sabatinca*, a representative of the basal moth group Micropterigidae (Thien 1980). In subsequent studies, also in New Caledonia (Thien *et al.* 1985; Pellmyr *et al.* 1990), the importance of beetles and the micropterigid moth *Sabatinca* was shown. Visitors to species of the two genera *Zygogynum s.s.* and *Exospermum* were two species of *Sabatinca* and three species of weevils (*Palontus* spp., Curculionidae). Thien and co-workers suggested that the beetles are regular pollinators while *Sabatinca* is a more occasional pollinator.

In the **Piperales**, only members of the holoparasitic family **Hydnoraceae** are strictly cantharophilous (saprocantharophilous). In African *Hydnora* species only the distal part of the deep floral tube emerges from the soil. Osmophores on the thick tepals emit a putrid, carrion-like odor which attracts beetles which drop into the deep floral tube of the protogynous flowers. Among the 10 beetle species that visit, the most common one (77% of all visits) in flowers of *H. africana* was *Dermestes maculatus* (Dermestidae), which is known to oviposit exclusively in carrion. Hence, *Hydnora* flowers can be classified as exhibiting brood-site mimicry with imprisonment (Musselman & Visser 1989; Bolin *et al.* 2009). Low thermogenesis appears to be associated with scent production (Seymour *et al.* 2009). Among American members of the Hydnoraceae, flowers of the South American *Prosopanche burmeisteri* also emit a bad smell and were found to be pollinated by nitidulid (*Neopacadius nitiduloides*) and curculionid (*Oxycorynus hydnorae*) beetles, which also oviposited in the floral tube (Bruch 1923).

In the **Laurales**, the only true cantharophilous representatives are in the family **Calycanthaceae**. *Calycanthus occidentalis* has bisexual, protogynous, dark red flowers, which emit a wine-like, fermenting fragrance at anthesis. The innermost petals, the stamens and the inner staminodes have

food bodies on their tips. In California, the nitidulid *Colopterus truncatus* was found to be the main pollinator of this species (Grant 1950). The beetles eat from the tissue of the food bodies, which contain high levels of protein (Rickson 1979). At other places in the United States, other nitidulid species of the genera *Colopterus* and *Carpophilus* were found to be effective pollinators of *C. occidentalis* and *C. floridus* (Nicely 1965; Williams *et al.* 2008). Trees of the family **Lauraceae** have small cream to whitish flowers organized in compact to loose inflorescences. Although little studied, it is thought that most species have generalist pollination consisting of a mixture of small to medium-sized beetles, flies, bees and wasps (e.g. Kubitzki & Kurz 1984; Dupont & Kato 1999). In *Nectandra umbrosa* the number of beetles attracted to inflorescences was considerable (723!) and came mostly from the following sub-families: Cerambycinae, Cryptocephalinae, Eumolpinae, Galerucinae, Baridinae and Curculioninae, however, only a subset of these are likely pollinators (Ødegaard & Frame 2007).

The **Magnoliales** consist of six families. No pollination studies exist for **Himantandraceae**, but cantharophily is suspected (Endress 1984b, 1993c). In the other five families, **Myristicaceae**, **Degeneriaceae**, **Magnoliaceae**, **Eupomatiaceae** and **Annonaceae**, beetle pollination has been clearly established and more or less well studied. The pantropical **Myristicaceae** are mostly dioecious and have small funnel-shaped or urceolate flowers. In *Myristica fragrans*, both pistillate and staminate flowers are light cream to yellow, and have a sweet, musky smell during the night. Three species of beetles were observed to visit the flowers, but only *Formicomus braminus* (Anthicidae, an ant-mimicking beetle) was collected from inside the staminate flowers. This beetle is too large to enter the interior of the pistillate flowers, but probing attempts by the beetles would deposit pollen on the stigma (Armstrong & Drummond III 1986; see also a similar phenomenon in *M. insipida* studied by Armstrong & Irvine 1989, Armstrong 1997).

The relict family **Degeneriaceae** represented by two species endemic to the Fiji Islands, *Degeneria vitiensis* and *D. roseiflora*, have relatively large fragrant flowers. At the beginning of anthesis of the protogynous flower of *D. vitiensis*, the yellow petals and inner staminodes spread, revealing the single carpel. The staminodes secrete a slimy yellow substance and the flowers emit a foul odor. After the first night of flowering, the petals and staminodes close and on the second evening, the petals and dehisced stamens reflex again. Many individuals of the nitidulid *Haptoncus takhtajani* were found in both pistillate and staminate flowers of this species and are its presumed pollinators (Thien 1980; Miller 1989).

**Magnoliaceae** consists of the genus *Liriodendron* (2 species) and *Magnolia* (220-240 species). Studies of a few tropical species of *Magnolia* has revealed cantharophily. Gibbs *et al.* (1977) found the large thick-petaled flowers of the Brazilian species, *M. ovata* to be nocturnal; anthesis is protogynous, the flowers open and close in a two-night rhythm and are pollinated by large dynastid scarab beetles. Later it was found that the flowers of this species are thermogenic in both the pistillate and staminate stages (Seymour *et al.* 2010). In Brazil, female and male individuals of only one beetle species, *Augoderia nitidula* (Dynastinae, Scarabaeidae), are attracted to the scented, warm flowers in both pistillate and staminate stages. Once inside the flowers they fed on petal tissue (in pistillate stage flowers) and on pollen (in the staminate stage) and also mated inside the flowers (Gottsberger *et al.* 2012). The two Mexican species, *M. schiedeana* and *M. tamaulipana* apparently also have nocturnal anthesis and are visited and pollinated by *Cyclocephala* beetles (Dieringer & Espinosa 1994; Dieringer *et al.* 1999).

The two species *Eupomatia laurina* and *E. bennettii* (**Eupomatiaceae**), occurring in eastern Australia and New Guinea, have relatively large, bisexual, protogynous, flowers that are interpreted as lacking a perianth, which is replaced by petal-like staminodes. Protection of the bud is by a calyptra, an amplexicaul bract. The petal-like inner staminodes produce sticky exudates and emit a strong, fruity-musky smell (Endress 1984a, 1993b, 2003; Kim *et al.* 2005). Several species of *Elloschodes* (Curculionidae) visit and pollinate *Eupomatia* flowers (Hamilton 1897; Diels 1916; Hotchkiss 1959; Endress 1993b; Armstrong & Irvine 1990).

Flowers of the large, pantropical family **Annonaceae** are nearly exclusively bisexual and protogynous, having a trimerous perianth consisting of one whorl of sepals and two whorls of thick, fleshy,

strongly smelling petals. The numerous stamens with broad connective shields and the apocarpous carpels have a helical arrangement. The family is predominantly pollinated by beetles, while in some groups also thrips (Thysanoptera), flies, cockroaches and even bees are the exclusive pollinators of flowers (Gottsberger 2012). Cantharophilous species maintain their petals curved and semi-closed over the floral center, forming a so-called pollination chamber, into which beetles usually enter during the pistillate stage of anthesis (Gottsberger 1970). There are two groups of beetles pollinating flowers of Annonaceae. The large majority of cantharophilous Annonaceae are pollinated by small beetles (Nitidulidae, Curculionidae, Staphylinidae, Chrysomelidae) having a body length up to 7 mm, and a smaller group of species attract Scarabaeidae (Dynastinae, Rutelinae, Cetoniinae, Trichiinae), which are large beetles having a body length of 14-20 mm.

The earliest divergent genus in Annonaceae is *Anaxagorea* (Scharaschkin & Doyle 2006). Where studied, flowers have been found to have a diurnal, 2-day flowering rhythm, with some species having a slight temperature rise above ambient temperature (thermogenesis). The emission of fruit-like odors attract species of *Colopterus* (Nitidulidae) (Webber 1996; Teichert *et al.* 2011; Braun & Gottsberger 2011).

There are many species in the Neotropics and Paleotropics which have diurnal or nocturnal flowers, with or without thermogenesis, and which are pollinated by small beetles, as in the genera *Annona*, *Deeringothamnus*, *Duguetia*, *Goniothalamus*, *Guatteria*, *Haplostichanthus*, *Isolona*, *Meiogyne*, *Melodorum*, *Piptostigma*, *Poyalthia*, *Sapranthus*, *Tetrameranthus* and *Xylopi*a (e.g. Gottsberger 1970, 1999; Gottsberger *et al.* 2011; Webber 1981a, 1981b, 1996, Deroin 1989; Nagel *et al.* 1989; Olesen 1992; Küchmeister *et al.* 1998; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2001, 2003; Norman 2003; Ratnayake *et al.* 2006, 2007; Teichert *et al.* 2012).

In the Neotropics, pollination by large dynastid scarab beetles, mostly of the genus *Cyclocephala*, occurs in nocturnal, large-flowered species of the genera *Annona*, *Cymbopetalum*, *Duguetia*, *Malmea*, *Porcelia* and others (e.g. Gottsberger 1989, Schatz 1990, Webber 1996). Their petals are very fleshy with nutritious tissue principally at the base of the inner petals. Thermogenesis can be remarkable high, reaching temperatures up to 12 °C above ambient air, and co-incident scent emissions are very strong and either sharp or fruity. Elevated temperatures inside the floral chamber permits beetles to expend less energy to keep warm and in this way promotes their activities (Seymour *et al.* 2003). *Asimina* species in Florida are pollinated by scarabs, but by members of Trichiinae and Cetoniinae (Norman & Clayton 1986), and large-flowered African species of *Uvariadendron* are pollinated by scarabs of the subfamilies Trichiinae and Rutelinae (Gottsberger *et al.* 2011).

Thrips are the exclusive or additional pollinators in small-flowered species of *Bocageopsis*, *Xylopi*a, *Popowia*, *Oxandra* and *Cananga* (e.g. Kessler 1993; Webber & Gottsberger 1995, Webber 1996; Mommose *et al.* 1998), fly-pollinated species occur in *Pseuduvaria* and *Uvariopsis* (Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2003; Gottsberger *et al.* 2011), and *Uvaria elmeri* was verified in Malaysia to be pollinated by cockroaches (Nagamitsu & Inoue 1996). A highly sophisticated case of bee pollination was described for the genus *Unonopsis*. Males of *Euglossa* and *Eulaema*, so called "orchid bees" (Euglossinae) collect perfume produced on the inner side of the inner petals of *Unonopsis* flowers and pollinate them (Carvalho & Webber 2000; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2003; Teichert *et al.* 2009).

## Adaptation of flowers for beetles

All basal angiosperms with bisexual flowers studied in this respect have protogynous anthesis. This is an archaic characteristics in angiosperms and may find an explanation by the early visitors of their flowers, flies, thrips and beetles which, contrary to bees, butterflies, birds and mammals, are more stationary at the flowers and often remain on and in an individual flower for a longer time, in some cases for 24 hours or more. In this situation, receptive stigmas at their arrival and pollen

shedding stamens at their departure provides the best and most effective way of pollination. As the pistillate and staminate stages are often completely separated, an insect-mediated self-pollination is avoided, which is extremely important, because of the high incidence of self-compatibility in the basal angiosperms. Other reasons for this kind of dichogamy may be found in flower construction of basal angiosperms, which have many, densely crowded reproductive organs and stamens lacking long filaments, so that pollen presentation is close to potentially receptive stigmas.

Beetle-pollinated species have the tendency to produce thick, tissue-rich petals, very instructively seen in Winteraceae and others. While the more generalist- or thrips-pollinated species have “normal”, thin petals, the petals of the derived beetle-pollinated *Zygogynum* species are thick and leathery. This tendency can be seen also in Nymphaeaceae, Calycanthaceae, Magnoliaceae, Eupomatiaceae, Annonaceae and others. The petals are not only thick, but they also curve over the flower center or cover it partly and form a pollination chamber, which is the most important structure to maintain the beetles in their center for the time necessary for the flower to reach the final staminate stage. The large flowers of cantharophilous species produce strong, enticing odors, whose emission often is intensified by thermogenic processes. Floral scent is mostly produced by the thick petals and heat is produced by metabolization of starch reserves stored in the petals. So petals have several functions, they attract beetles by strong odor emissions, often intensified by flower warming, and the beetles once inside the dark, protecting, warm, energy-saving pollination chamber, find nutritious tissues or food bodies during the pistillate stage of a flower and abundant pollen in the later staminate stage. Thus a pollination chamber is an ideal place for beetles for hiding, alimentering and mating. As eating of petals can be destructive, beetle flowers have developed several devices against being destroyed, such as larger flowers with thicker petals, instructively seen in flowers visited by the voracious scarab beetles, or also food bodies on petals, stamens and staminodes, nutritious tissues on the petals, or protective shield-like connectives in Annonaceae

Flowers can easily “handle” their beetle pollinators. If they provide them a dark, odoriferous, if possible, warm pollination chamber with food then they can keep them as long as necessary to become efficient pollinators! Considering the overwhelming number of beetles, cantharophily especially in mostly tropical basal angiosperms, was the easiest way to become a pollination specialist. Some members of the Nymphaeaceae, some derived Winteraceae, Hydnoraceae, Calycanthaceae, Myristicaceae, Degeneriaceae, Magnoliaceae, Eupomatiaceae and more than 90% of extant Annonaceae elaborated and function on the basis of this efficient and successful beetle pollination syndrome.

## Acknowledgements

Many thanks to our colleague Dawn Frame for correcting and improving the manuscript.

## References

- APG III. Bremer, B.; Bremer, K.; Chase, M.W.; Fay, M.F.; Reveal, J.L.; Soltis, D.E.; Soltis, P.S. & Stevens, P.F. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: **Botanical Journal of the Linnean Society** **161**: 105-121.
- Armstrong, J.E. 1997. Pollination by deceit in nutmeg (*Myristica insipida*, Myristicaceae): floral displays and beetle activity at male and female trees. **American Journal of Botany** **84**: 1266-1274.
- Armstrong, J.E. & Drummond III, B.A. 1986. Floral biology of *Myristica fragrans* Houtt. (Myristicaceae), the nutmeg of commerce. **Biotropica** **18**: 32-38.
- Armstrong, J.E. & Irvine, A.K. 1989. Floral biology of *Myristica insipida* (Myristicaceae), a distinctive beetle pollination syndrome. **American Journal of Botany** **76**: 86-94.


- Armstrong, J.E. & Irvine, A.K. 1990. Functions of staminodia in the beetle-pollinated flowers of *Eupomatia laurina*. **Biotropica** **22**: 429-431.
- Bernhardt, P. & Thien, L.B. 1987. Self-isolation and insect pollination in the primitive angiosperms: new evaluations of older hypotheses. **Plant Systematics and Evolution** **156**: 159-176.
- Bolin, J.F.; Maass, E. & Musselman, L.J. 2009. Pollination biology of *Hydnora africana* Thunb. (Hydnoraceae) in Namibia: brood-site mimicry with insect imprisonment. **International Journal of Plant Sciences** **170**: 157-163.
- Borsch, T.; Löhne, C. & Wiersema, J. 2008. Phylogeny and evolutionary patterns in Nymphaeales: integrating genes, genomes and morphology. **Taxon** **57**: 1052-1081.
- Braun, M. & Gottsberger, G. 2011. Floral biology and breeding system of *Anaxagorea dolichocarpa* (Annonaceae), with observations on the interval between anthesis and fruit formation. **Phyton (Horn, Austria)** **51**: 315-327.
- Bruch, C. 1923. Coleópteros fertilizadores de "*Prosopanche burmeisteri*" De Bary. **Physis** **7**: 82-88.
- Capperino, M.E. & Schneider, E.L. 1985. Floral biology of *Nymphaea mexicana* Zucc. (Nymphaeaceae). **Aquatic Botany** **23**: 83-93.
- Carvalho, R. & Webber, A.C. 2000. Biologia floral de *Unonopsis gatterioides* (A.DC.) R.E.Fr., uma Annonaceae polinizada por Euglossini. **Revista Brasileira de Botânica** **23**: 419-423.
- Cramer, J.M.; Meeuse, A.D.J. & Teunissen, P.A. 1975. A note on the pollination of nocturnally flowering species of *Nymphaea*. **Acta Botanica Neerlandica** **24**: 489-490.
- Deroin, T. 1989. Quelques aspects de la biologie florale d'une Annonacee savanicole: *Annona senegalensis* Pers. **Mémoires de la Société de Biogéographie. Paris III**: 42-53.
- Diels, L. 1916. Käferblumen bei den Ranales und ihre Bedeutung für die Phylogenie der Angiospermen. **Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft** **34**: 758-774.
- Dieringer, G. & Espinosa, S.J.E. 1994. Reproductive ecology of *Magnolia schiedeana* (Magnoliaceae), a threatened cloud forest tree species in Veracruz, Mexico. **Bulletin of the Torrey Botanical Club** **121**: 154-159.
- Dieringer, G.; Cabrera, R.L.; Lara, M.; Loya, L. & Reyes-Castillo, P. 1999. Beetle pollination and floral thermogenicity in *Magnolia tamaulipana* (Magnoliaceae). **International Journal of Plant Sciences** **160**: 64-71.
- Dupont, Y.L. & Kato, M. 1999. Phenology and flower-visiting entomofauna of six species of *Lindera* (Lauraceae) in Japan. **Nordic Journal of Botany** **19**: 707-718.
- Endress, P.K. 1980. The reproductive structures and systematic position of the Austrobaileyaceae. **Botanische Jahrbücher für Systematik** **101**: 393-433.
- Endress, P.K. 1984a. The flowering process in the Eupomatiaceae (Magnoliales). **Botanische Jahrbücher für Systematik** **104**: 297-319.
- Endress, P.K. 1984b. The role of inner staminodes in the floral display of some relic Magnoliales. **Plant Systematics and Evolution** **146**: 269-282.
- Endress, P.K. 1990. Evolution of reproductive structures and functions in primitive angiosperms (Magnoliidae). **Memoirs of the New York Botanical Garden** **55**: 5-34.
- Endress, P.K. 1993a. Austrobaileyaceae. Pp. 138-140. In: Kubitzki, K.; Rohwer J.G. & V. Bittrich (Eds.), **The Families and Genera of Vascular Plants II. Flowering Plants. Dicotyledons. Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families**. Berlin, Heidelberg, New York, Springer.
- Endress, P.K. 1993b. Eupomatiaceae. Pp. 296-298. In: Kubitzki, K., Rohwer J.G. & V. Bittrich (Eds.), **The Families and Genera of Vascular Plants II. Flowering Plants. Dicotyledons. Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families**. Berlin, Heidelberg, New York, Springer.
- Endress, P.K. 1993c. Himantandraceae. Pp. 338-341. In: Kubitzki, K., Rohwer J.G. & V. Bittrich (Eds.), **The Families and Genera of Vascular Plants II. Flowering Plants. Dicotyledons. Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families**. Berlin, Heidelberg, New York, Springer.
- Endress, P.K. 1994. **Diversity and Evolutionary Biology of Tropical Flowers**. Cambridge, Cambridge University Press.

- Endress, P.K. 2003. Early floral development and nature of the calyptra in Eupomatiaceae (Magnoliales). **International Journal of Plant Sciences** **164**: 489-503.
- Endress, P.K. 2010. The evolution of floral biology in basal angiosperms. **Philosophical Transactions of the Royal Society** **365**: 411-421.
- Ervik, F. & Knudsen, J.T. 2003. Water lilies and scarabs: faithful partners for 100 million years? **Biological Journal of the Linnean Society** **80**: 539-543.
- Gibbs, P.E.; Semir, J. & Cruz, N.D. 1977. Floral biology of *Talauma ovata* St. Hil. (Magnoliaceae). **Ciência e Cultura** **29**: 1436-1441.
- Gottsberger, G. 1970. Beiträge zur Biologie von Annonaceen-Blüten. **Österreichische Botanische Zeitung** **118**: 237-279.
- Gottsberger, G. 1974. The structure and function of the primitive angiosperm flower – a discussion. **Acta Botanica Neerlandica** **23**: 461-471.
- Gottsberger, G. 1977. Some aspects of beetle pollination in the evolution of flowering plants. **Plant Systematics and Evolution. Suppl. 1**: 211-226.
- Gottsberger, G. 1988. The reproductive biology of primitive Angiosperms. **Taxon** **37**: 630-643.
- Gottsberger, G. 1989. Beetle pollination and flowering rhythm of *Annona* spp. (Annonaceae) in Brazil. **Plant Systematics and Evolution** **167**: 165-187.
- Gottsberger, G. 1999. Pollination and evolution in neotropical Annonaceae. **Plant Species Biology** **14**: 143-152.
- Gottsberger, G. 2012. How diverse are Annonaceae with regard to pollination? **Botanical Journal of the Linnean Society** **169**: 245-261.
- Gottsberger, G.; Silberbauer-Gottsberger, I. & Ehrendorfer, F. 1980. Reproductive biology in the primitive relic angiosperm *Drimys brasiliensis* (Winteraceae). **Plant Systematics and Evolution** **135**: 11-39.
- Gottsberger, G.; Meinke, S. & Porembski, S. 2011. First records of flower biology and pollination in African Annonaceae: *Isolona*, *Piptostigma*, *Uvariadendron*, *Monodora* and *Uvariopsis*. **Flora** **206**: 498-510.
- Gottsberger G.; Silberbauer-Gottsberger I., Seymour R.S. & Dötterl S. 2012. Pollination ecology of *Magnolia ovata* may explain the overall large flower size of the genus. **Flora** **207**: 107-118.
- Grant, V. 1950. The pollination of *Calycanthus occidentalis*. **American Journal of Botany** **37**: 294-297.
- Hamilton, A.G. 1897. On the fertilization of *Eupomatia laurina*, R.Br. **Proceedings of the Linnean Society of New South Wales** **22**: 48-56.
- Hirthe, G. & Porembski, S. 2003. Pollination of *Nymphaea lotus* (Nymphaeaceae) by rhinoceros beetles and bees in the northeastern Ivory Coast. **Plant Biology** **5**: 670-675.
- Hotchkiss, A.T. 1959. Pollen and pollination in the Eupomatiaceae. **Proceedings of the Linnean Society of New South Wales** **83**: 86-91.
- Karol, K.G.; Suh, Y.; Schatz, G.E. & Zimmer, E.A. 2000. Molecular evidence for the phylogenetic position of *Takhtajania* in the Winteraceae: inference from nuclear ribosomal and chloroplast gene spacer sequences. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **87**: 414-432.
- Kessler, P.J.A. 1993. Annonaceae. Pp. 93-129. In: Kubitzki, K.: Rohwer J.G. & V. Bittrich (Eds.), **The Families and Genera of Vascular Plants II. Flowering Plants. Dicotyledons. Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families**. Berlin, Heidelberg, New York, Springer.
- Kim, S.; Koh, J.; Ma, H.; Hu, Y.; Endress, P.K.; Hauser, B.A.; Buzgo, M.; Soltis, P.S. & Soltis, D.E. 2005. Sequence and expression studies of A-, B-, and E- Class mads-box homologues in *Eupomatia* (Eupomatiaceae): support for the bracteate origin of the calyptra. **International Journal of Plant Science** **166**: 185-198.
- Kite, G.; Reynolds, T. & Prance, G.T. 1991. Potential pollinator-attracting chemicals from *Victoria* (Nymphaeaceae). **Biochemical Systematics and Ecology** **19**: 535-539.
- Knuth, P. 1908. **Handbook of Floral Pollination** (transl. J.R.A. Davis). Vol. 2. Oxford, Clarendon Press.
- Krell, F.-T.; Hirthe, G.; Seine, R. & Porembski, S. 2003. Rhinoceros beetles pollinate water lilies in Africa (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae; Magnoliidae: Nymphaeaceae). **Ecotropica** **9**: 103-106.

- Kubitzki, K. & Kurz, H. 1984. Synchronized dichogamy and dioecy in neotropical Lauraceae. **Plant Systematics and Evolution** **147**: 253-266.
- Kubitzki, K.; Rohwer J. G. & Bittrich V. (Eds.). 1993. **The Families and Genera of Vascular Plants II. Flowering Plants. Dicotyledons. Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families**. Berlin, Heidelberg, New York, Springer.
- Küchmeister, H.; Webber, A.C.; Silberbauer-Gottsberger, I. & Gottsberger, G. 1998. A polinização e sua relação com a termogênese em espécies de Arecaceae e Annonaceae da Amazônia Central. **Acta Amazonica** **28**: 217-245.
- Lamprecht, I.; Schmolz, E.; Hilsberg, S. & Schlegel, S. 2002. A tropical water lily with strong thermogenetic behaviour - thermometric and thermographic investigations on *Victoria cruziana*. **Thermochemica Acta** **382**: 199-210.
- Luo, Y.-B. & Li, Y. 1999. Pollination ecology of *Chloranthus serratus* (Thunb.) Roem. et Schult. and *Ch. fortunei* (A. Gray) Solms-Laub. (Chloranthaceae). **Annals of Botany** **83**: 489-499.
- Michels, A. 1993. Phänologie, Blütenökologie und Reproduktionsbiologie von *Nymphaea alba* L., *Nuphar lutea* (L.) Sm. und *Ranunculus fluitans* Lam. **Master thesis**, Giessen, University Giessen.
- Miller, J.M. 1989. The archaic flowering plant family Degeneriaceae: its bearing on an old enigma. **National Geographic Research** **5**: 218-231.
- Momose, K.; Nagamitsu, T. & Inoue, T. 1998. Thrips cross-pollination of *Popowia pisocarpa* (Annonaceae) in a lowland dipterocarp forest in Sarawak. **Biotropica** **30**: 444-448.
- Musselman, L.J. & Visser, J.H. 1989. Taxonomy and natural history of *Hydnora* (Hydnoraceae). **Aliso** **12**: 317-326.
- Nagamitsu, T. & Inoue, T. 1997. Cockroach pollination and breeding system of *Uvaria elmeri* (Annonaceae) in a lowland mixed-dipterocarp forest in Sarawak. **American Journal of Botany** **84**: 208-213.
- Nagel, J.; Pena, J.E. & Habeck, D. 1989. Insect pollination of atemoya in Florida. **The Florida Entomologist** **72**: 207-211.
- Nicely, K.A. 1965. A monographic study of the Calycanthaceae. **Castanea** **30**: 38-81.
- Norman, E.M. 2003. Reproductive biology of *Deeringothamnus rugelii* and *D. pulchellus* (Annonaceae). **Taxon** **52**: 547-555.
- Norman, E.M. & Clayton, D. 1986. Reproductive biology of two Florida pawpaws: *Asimina obovata* and *A. pygmaea* (Annonaceae). **Bulletin of the Torrey Botanical Club** **113**: 16-22.
- Ødegaard, F. & Frame, D. 2007. Generalist flowers and phytophagous beetles in two tropical canopy trees: resources for multitudes. **Taxon** **56**: 696-706.
- Olesen, J.M. 1992. Flower mining by moth larvae vs. pollination by beetles and bees in the cauliflorous *Sapranthus palanga* (Annonaceae) in Costa Rica. **Flora** **187**: 9-15.
- Pellmyr, O.; Thien, L.B.; Bergström, G. & Groth, I. 1990. Pollination of New Caledonian Winteraceae: opportunistic shifts or parallel radiation with their pollinators? **Plant Systematics and Evolution** **173**: 143-157.
- Prance, G.T. 1980. A note on the pollination of *Nymphaea amazonum* Mart. & Zucc. (Nymphaeaceae). **Brittonia** **32**: 505-507.
- Prance, G.T. & Arias, J.R. 1975. A study of the floral biology of *Victoria amazonica* (Peopp.) Sowerby (Nymphaeaceae). **Acta Amazonica** **5**: 109-139.
- Prance, G.T. & Anderson, A.B. 1976. Studies of the floral biology of neotropical Nymphaeaceae. 3. **Acta Amazonica** **6**: 163-170.
- Ratnayake, R.M.C.S.; Gunatilleke, I.A.U.N.; Wijesundara, D.S.A. & Saunders, R.M.K. 2006. Reproductive biology of two sympatric species of *Polyalthia* (Annonaceae) in Sri Lanka. I. Pollination by curculionid beetles. **International Journal of Plant Sciences** **167**: 483-493.
- Ratnayake, R.M.C.S.; Gunatilleke, I.A.U.N.; Wijesundara, D.S.A. & Saunders, R.M.K. 2007. Pollination ecology and breeding system of *Xylopiya championii* (Annonaceae): curculionid beetle pollination, promoted by floral scents and elevated floral temperatures. **International Journal of Plant Sciences** **168**: 1255-1268.
- Rickson, F.R. 1979. Ultrastructural development of the beetle food tissue of *Calycanthus* flowers. **American Journal of Botany** **66**: 80-86.



- Robertson. 1889. Flowers and insects. I. **Botanical Gazette** **14**: 123-125.
- Scharaschkin, T. & Doyle, J.A. 2006. Character evolution in *Anaxagorea* (Annonaceae). **American Journal of Botany** **93**: 36-54.
- Schatz, G.E. 1990. Some aspects of pollination biology in Central American forests. Pp. 69-84. In: Bawa, K.S. & M. Hadley (Eds.). **Reproductive Ecology of Tropical Plants**. Paris, UNESCO.
- Schmucker, T. 1932. Physiologische und ökologische Untersuchungen an Blüten tropischer *Nymphaea*-Arten. **Planta** **16**: 376-412.
- Schneider, E.L. 1982a. Observations on the pollination biology of *Nymphaea gigantea* W.J. Hooker (Nymphaeaceae). **The Western Australian Naturalist** **15**: 71-72.
- Schneider, E.L. 1982b. Notes on the floral biology of *Nymphaea elegans* (Nymphaeaceae) in Texas. **Aquatic Botany** **12**: 197-200.
- Schneider, E.L. & Chaney, T. 1981. The floral biology of *Nymphaea odorata* (Nymphaeaceae). **The Southwestern Naturalist** **26**: 159-165.
- Seymour, R.S. & Matthews, P.G.D. 2006. The role of thermogenesis in the pollination biology of the Amazon waterlily *Victoria amazonica*. **Annals of Botany** **98**: 1129-1135.
- Seymour, R.S.; White, C.R. & Gibernau, M. 2003. Heat reward for insect pollinators. **Nature** **426**: 243-244.
- Seymour, R.S.; Maass, E. & Bolin, J.F. 2009. Floral thermogenesis of three species of *Hydnora* (Hydnoraceae) in Africa. **Annals of Botany** **104**: 823-832.
- Seymour, R.S.; Silberbauer-Gottsberger, I. & Gottsberger, G. 2010. Respiration and temperature patterns in thermogenic flowers of *Magnolia ovata* under natural conditions in Brazil. **Functional Plant Biology** **37**: 870-878.
- Silberbauer-Gottsberger, I.; Webber, A.C.; Kückmeister, H. & Gottsberger, G. 2001. Convergence in beetle-pollinated Central Amazonian Annonaceae, Araceae, Arecaceae, and Cyclanthaceae. Pp. 165 -183. In: Gottsberger, G. & S. Liede (Eds.). **Life Forms and Dynamics in Tropical Forests**. Berlin, Stuttgart, Gebrüder Borntraeger.
- Silberbauer-Gottsberger, I., Gottsberger, G. & Webber, A.C. 2003. Morphological and functional flower characteristics of New and Old World Annonaceae with respect to their mode of pollination. **Taxon** **52**: 701-718.
- Skubatz, H.; Williamson, P.S.; Schneider, E.L. & Meeuse, B.J.D. 1990. Cyanide-insensitive respiration in thermogenic flowers of *Victoria* and *Nelumbo*. **Journal of Experimental Botany** **41**: 1335-1339.
- Teichert, H.; Dötterl, S.; Zimma, B.; Ayasse, M. & Gottsberger, G. 2009. Perfume-collecting male euglossine bees as pollinators of a basal angiosperm: the case of *Unonopsis stipitata* (Annonaceae). **Plant Biology** **11**: 29-37.
- Teichert, H.; Dötterl, S. & Gottsberger, G. 2011. Heterodichogamy and nitidulid beetle pollination in *Anaxagorea prinoides*, an early divergent Annonaceae. **Plant Systematics and Evolution** **291**: 25-33.
- Teichert, H.; Dötterl, S.; Frame, D.; Kirejtshuk, A. & Gottsberger, G. 2012. A novel pollination mode, saprocanthrophily, in *Duguetia cadaverica* (Annonaceae): a stinkhorn (Phallales) flower mimic. **Flora** **207**: 522-529.
- Thien, L.B. 1980. Patterns of pollination in the primitive angiosperms. **Biotropica** **12**: 1-13.
- Thien, L.B.; Bernhardt, P.; Gibbs, G.W.; Pellmyr, O.; Bergström, G.; Groth, I. & McPherson, G. 1985. The pollination of *Zygogynum* (Winteraceae) by a moth, *Sabatinca* (Micropterigidae): an ancient association? **Science** **227**: 540-543.
- Valla, J.J. & Cirino, D.R. 1972. Biología floral del irupé, *Victoria cruziana* D'Orb. (Nymphaeaceae). **De Darwiniana** **17**: 477-500.
- Webber, A.C. 1981a. Alguns aspectos da biologia floral de *Annona sericea* Dun. (Annonaceae). **Acta Amazonica** **11**: 61-65.
- Webber, A.C. 1981b. Biología Floral de Algumas Annonaceae na Região de Manaus AM. **Master thesis**, Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) and Fundação Universidade do Amazonas (FUA).

- 
- Webber, A.C. 1996. Biologia floral, polinização e aspectos fenológicos de algumas Annonaceae na Amazônia Central. **Doctoral thesis**, Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) and Fundação Universidade do Amazonas (FUA).
- Webber, A.C. & Gottsberger, G. 1995. Floral biology and pollination of *Bocageopsis multiflora* and *Oxandra euneura* in Central Amazonia, with remarks on the evolution of stamens in Annonaceae. **Feddes Repertorium** **106**: 515-524.
- Williams, R.N.; Acosta, N.M. & Price, M.B. 2008. Nitidulidae (Coleoptera) found in flowers of *Calycanthus floridus* Linnaeus (Laurales: Calycanthaceae) in northeastern Ohio, U.S.A. **Entomological News** **119**: 397-402.



# CONVERGENCE OF BEETLE AND THIRPS POLLINATION IN CYCADS

**Dawn Frame**

UMR-AMAP, Herbier de Guyane, Cayenne, French Guiana.

[dawn.frame@ird.fr](mailto:dawn.frame@ird.fr)

**M**odern-day cycads are considered recently evolved representatives of an ancient gymnosperm lineage dating possibly to the end Permian. All cycads are dioecious and insect pollinated, possibly occasionally supplemented by wind. Where studied, pollination is effected mostly by beetles and sometimes involves two distinct beetle lineages. In certain cases, thrips are co-pollinators along with beetles. There is also a well-described case of thrips being sole pollinators of cycads. The association is nearly always obligate for cycads and presumably frequently so for the pollinating beetle or thrips. The life-cycle of both the plant and insect are intimately synchronized and *in situ* cycad conservation depends not only upon preservation of cycad populations but also that of the corresponding insect pollinator. The present paper explores cycad pollination systems involving beetles and thrips, alone or in combination, and the concept of spatial segregation is evoked. Emphasis is placed on plant cues and pollinator life-cycles as these are considered key to a broader understanding of specialist beetle and/or thrips pollination systems.



# EVALUATING FLOWER CHARACTERISTICS THAT REGULATE VISITATION OF POTENTIAL POLLINATORS: COMPARING BEETLE, BEE, BUTTERFLY AND FLY VISITATION

**Luísa G. Carvalheiro**

School of Biology, University of Leeds, United Kingdom.

[l.g.carvalheiro@leeds.ac.uk](mailto:l.g.carvalheiro@leeds.ac.uk)

Co-flowering plant species commonly share flower visitors, and thus have the potential to influence each other's pollination. Understanding which factors regulate visits of potential pollinators can help to better predict impacts of invasive species, or of management actions aiming to enhance pollination services. A recent study analysed 750 quantitative plant–pollinator networks from a diverse set of biomes worldwide, and evaluate what mechanisms influence the visitation of beetles, and compare to other taxa of common bees, butterflies, flies. Our research shows that the factors that regulate visitation differ between the different taxa. For all taxa flower abundance was the most important driver of visitation. However, while for beetles, flower accessibility (nectar tube length, and number of flower per unit area) was the main flower trait regulating visitation, for bees nectar sugar content and phylogenetic proximity between plants (a proxy for several unmeasured traits) were the most important factors defining visitation patterns. Consequently, the impact of these factors depends on the pollination mode of plants, e.g. bee, fly or beetle pollinated. We also show that the potential influence among co-flowering plants was independent of plant geographic origin (native vs. non-native). Our findings can help predict which plant species have the greatest importance in determining functioning of plant-pollination networks.

# PAPEL DE DISPERSORES/PREDADORES VERTEBRADOS E PARASITÓIDES NA TAXA DE PREDACÃO DE SEMENTES POR BESOUROS EM *SYAGRUS ROMANZOFFIANA* (CHAMISSO) GLASSMAN (ARECACEAE)

**João Vasconcellos-Neto, Janaina Rosa Cortinoz,  
Adriana Barnabé de Moraes & Danielle de Paula Maia**

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

[jvascont@unicamp.br](mailto:jvascont@unicamp.br)

A predação é o destino mais provável para sementes da palmeira *Syagrus romanzoffiana*, sendo coleópteros e roedores os principais predadores. Roedores podem consumir as sementes antes de ocorrer a oviposição por besouros, competindo com os insetos, e podem preda larvas ao consumir sementes previamente infestadas. Assim a predação de sementes por besouros deve variar de acordo com a presença ou ausência de vertebrados dispersores e/ou predadores de sementes. A população de besouros predadores de sementes pode ser regulada por insetos parasitoides, em especial, vespas parasíticas das famílias Braconidae e Ichneumonidae. A predação de sementes foi medida em quatro localidades que diferem entre si quanto à presença de vertebrados dispersores e/ou predadores de sementes de *Syagrus romanzoffiana*, como esquilos e cutias. A predação por besouros foi maior em áreas onde vertebrados predadores de sementes estão ausentes ou em baixas densidades, como Unicamp e Reserva Municipal Mata de Santa Genebra, respectivamente. A predação por besouros bruquíneos foi menor na presença de vertebrados predadores como esquilos na Serra do Japi e cutias no Bosque dos Jequitibás, mas a predação por curculionídeos foi menor apenas na Serra do Japi. A predação de sementes por bruquíneos e curculionídeos foi negativamente relacionada à predação por vertebrados. O consumo de sementes por esses vertebrados deve reduzir a quantidade de sementes disponíveis para besouros bruquíneos, ou há predação intraguilda de larvas de bruquíneos por esquilos e cutias. O mesmo deve ocorrer para a interação entre esquilos e curculionídeos, que atacam as sementes pré-dispersão. A relação negativa entre a predação por curculionídeos e cutias pode ser interpretada de duas formas, ou cutias rejeitam sementes atacadas por curculionídeos ou ocorre predação intraguilda por cutias. Assim, de acordo com a composição e abundância de espécies de vertebrados predadores e/ou dispersores de sementes a predação de sementes por besouros pode ser reduzida ou não ser afetada. Na ausência de predadores de sementes vertebrados as taxas de predação por coleópteros aumentam e suas populações são mais atacadas por vespas parasíticas. Nestas interações tritróficas é possível identificar as janelas temporais para o sucesso de cada espécie.

# ESCARAVELHOS E AS SUAS FLORES NO CERRADO

**Hipólito Ferreira Paulino-Neto**

Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto,  
Departamento de Biologia, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

[hipolitopaulino@gmail.com](mailto:hipolitopaulino@gmail.com)

O tema “Escaravelhos e suas flores no Cerrado” é muito relevante e até o presente momento este é o único trabalho de revisão publicado e fornece informações valiosas para melhor compreensão deste fascinante sistema de interação e seus vários aspectos ecológicos em um bioma com tamanha abrangência no território brasileiro e tão alta diversidade; e contraditoriamente tão pouco estudado quanto às associações entre flores e besouros.

De um modo geral, poucos grupos de angiospermas são polinizados predominantemente ou mesmo exclusivamente por besouros. Estes grupos consistem basicamente em Annonaceae, Calycanthaceae, Eupamotiaceae, Magnoliaceae e Nymphaeaceae, e menos frequente em Lauraceae e Myristicaceae, todas consideradas famílias primitivas de plantas (Gottsberger 1977, 1988, 1989a; Bawa 1990; Gottsberger 1990; Dieringer *et al.* 1999; Seymour *et al.* 2003; Gottsberger *et al.* 2012; Maia *et al.* 2012a). Entretanto a cantarofilia *stricta* e/ou co-polinização por besouros ocorre também em várias espécies de famílias derivadas de plantas como Araceae, Cactaceae, Clusiaceae, Cyclanthaceae, Dilleniaceae e Rosaceae. Todas estas famílias apresentam flores que emitem odor semelhante a seu próprio fruto quando maduro e apresentam em comum o fato de terem ao longo da evolução reduzido o número de estames e também uma posterior onda de radiação ter as direcionado novamente à cantarofilia, concomitantemente com um aumento secundário de estames e conseqüentemente, maior oferta de pólen, principal fonte de alimento para os besouros polinizadores (Gottsberger 1977; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006). Portanto, ao contrário do que se acreditava, cantarofilia não é um sistema de polinização exclusivo de grupos de angiospermas primitivas. Atualmente é interpretado como uma recente especialização dentro de angiospermas primitivas, inclusive apresentando inúmeras e incríveis adaptações à visitação por besouros, sendo que esta especialização também ocorreu também em famílias modernas (Gottsberger 1977, 1989b, 1990).

Dentre os escarabeídeos Dynastinae, a maioria das associações entre besouros e flores se dá com Cyclocephalini, segunda maior tribo de besouros rinoceros, atualmente apresentando 15 gêneros e mais de 500 espécies descritas (Smith 2006; Ratcliffe 2008). Cyclocephalines apresentam distribuição pantropical e a maior diversidade de espécies é concentrada nas Américas, sendo importantes economicamente tanto como polinizadores como também pragas de raízes de espécies importantes de plantas (Moore & Jameson 2013). Besouros cyclocephalines adultos são observados frequentemente em flores e inflorescências de inúmeras angiospermas tais como Annonaceae, Arecaceae, Calycanthaceae, Cyclanthaceae, Magnoliaceae e Nymphaeaceae (Gottsberger & Amaral 1984; Gottsberger 1989b, a; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 1991; Gottsberger 1994; Kuchmeister *et al.* 1997; Kuchmeister *et al.* 1998; Dieringer *et al.* 1999; Bernhardt 2000; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2001; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Dotterl *et al.* 2012; Maia *et al.* 2012b; Gottsberger *et al.* 2013; Moore & Jameson 2013). Estudos sobre polinização das espécies de angiospermas visitadas por cyclocephalines indicam algumas adaptações convergentes para atração

destes besouros, tais como grande oferta de pólen, pétalas ou outros tecidos comestíveis e nutritivos, em geral não produzem néctar, local para encontro de parceiros sexuais e acasalamento, termogênese seguida de emissão de odores eficazes na sua atração (Gottsberger & Amaral 1984; Gottsberger 1986, 1989a, 1990, 1994; Webber 1996; Kuchmeister *et al.* 1998; Dieringer *et al.* 1999; Bernhardt 2000; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2001; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2003; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Maia & Schlindwein 2006; Paulino-Neto & Oliveira 2006; Maia *et al.* 2010; Gottsberger *et al.* 2012; Maia *et al.* 2012b; Gottsberger *et al.* 2013; Maia *et al.* 2013; Paulino-Neto 2014). Entretanto, as principais associações entre flores de espécies de plantas do Cerrado e Cyclocephalini (Scarabaeidae) envolvem besouros do gênero *Cyclocephala* (Gottsberger & Amaral 1984; Gottsberger 1986, 1989b, a, 1990, 1994; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Maia *et al.* 2012a; Gottsberger *et al.* 2013; Moore & Jameson 2013; Paulino-Neto 2014), os quais geralmente apresentam hábito noturno. *Cyclocephala* Dejean, 1821 é um gênero grande contendo cerca de 335 espécies pertencente à cyclocephaline (Scarabaeidae: Dynastinae) distribuindo-se desde o Canadá até a Argentina, mas a maioria das espécies ocorre nos neotrópicos (Ratcliffe 2008) (Figura 1).

Associações entre flores e besouros escaravelhos têm sido frequentemente documentadas para o Cerrado (Schatz) e ocorrem predominantemente com Annonaceae (Gottsberger 1986, 1989b, a; Bawa 1990; Gottsberger 1990, 1994; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Maia *et al.* 2012a; Paulino-Neto 2014), Araceae (Gottsberger 1986, 1990; Schatz 1990; Gottsberger 1994; Seymour *et al.* 2003; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Maia & Schlindwein 2006; Maia *et al.* 2010; Maia *et al.* 2012a; Maia *et al.* 2012b; Gottsberger *et al.* 2013; Maia *et al.* 2013). Entretanto, há poucos estudos com Araceae de Cerrados (Gottsberger 1986; Silberbauer-Gottsberger 1990; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006), a maioria concentrada em outros biomas como Amazônia e Mata Atlântica, ou mesmo outros países ou não apresentam Scarabaeidae como principais polinizadores (Kuchmeister *et al.* 1997; Seymour & Schultze-Motel 1997; Kuchmeister *et al.* 1998; Ervik *et al.* 1999; Maia & Schlindwein 2006; Chouteau *et al.* 2007; Maia *et al.* 2010; Maia *et al.* 2012a; Maia *et al.* 2013; Moore & Jameson 2013). Estima-se que mais de 900 espécies de angiospermas tenham besouros Dynastinae (Scarabaeidae) como polinizadores exclusivos ou principais (Schatz 1990). Apesar da enorme diversidade de besouros escaravelhos, pouco se sabe sobre sua biologia e menos ainda sobre sua ecologia de interações com flores, sejam elas positivas como na polinização ou negativas como na florivoria ou predação de sementes (Bawa 1990; Maia *et al.* 2012a).

Em geral, besouros escarabeídeos são noturnos, portanto a polinização ocorre à noite e as espécies por eles polinizadas apresentam antese crepuscular ou noturna (Gottsberger 1994; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Ratcliffe 2008; Paulino-Neto 2014) (Figura 2). Muitos destes escarabeídeos são muito especializados, de forma que muitas espécies de Annonaceae e Araceae são polinizadas por somente uma ou duas espécies destes besouros (Bawa 1990; Gottsberger 1994; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Paulino-Neto 2009; Maia *et al.* 2012a; Paulino-Neto 2014; Pereira *et al.* 2014). Esta alta especificidade reflete inúmeras adaptações das flores destas espécies de plantas à visitação por estes besouros tais como: 1) formação de câmara floral; 2) pétalas como recurso alimentar rico em lipídeos, carboidratos e até proteínas; 3) termogênese; 4) emissão de odores altamente específicos para atração de besouros altamente especialistas (Gottsberger 1989a, b,



**Figura 1.** Besouros *Cyclocephala atricapilla* Mannerheim, 1829 (Scarabaeidae) no interior da câmara floral de *Annona coriacea* no cerrado da Estação Ecológica de Itirapina-SP.



**Figura 2.** Botões florais de *Annona crassiflora* (Annonaceae) e flor em início de antese, a qual ocorre durante as noites. Flor apresentando três pétalas externas bem grossas e maciças e três pétalas internas bem mais delgadas e delicadas.

diminuindo a competição pelo serviço de polinização por eles prestados, ao mesmo tempo em que oferecem a estes besouros recurso floral por um período maior ao longo do ano como verificado por Gottsberger (1989a, 1994); Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger (2006).

Especializada cantarofilia teve origem no final do Jurássico e início do Cretáceo concomitantemente com as flores típicas de besouros. Espécies de anonáceas polinizadas por besouros escarabeídeos dynastídeos provavelmente se diversificaram no início do Terciário e a diversificação na morfologia floral reflete os diferentes graus de adaptação à cantarofilia (Gottsberger 1988). Annonaceae apresenta distribuição pantropical e consiste na mais bem sucedida família de Magnoliales, atualmente com 2512 espécies e 186 gêneros (Rainer & Chatrou 2011). Estima-se que no Brasil haja pelo menos 260 espécies de anonáceas (Barroso *et al.* 2007). Praticamente todas as espécies de anonáceas de Cerrado são cantarófilas e apresentam basicamente dois grupos de polinizadores, um composto por pequenos besouros das famílias Nitidulidae, Curculionidae, Chrysomelidae e Staphylinidae menores que 1,0 cm (geralmente com 0,5 cm) que visitam, por exemplo, espécies de *Cardiopetalum*, *Duguetia*, *Guatteria*, *Rollinia* e *Xylopia* com flores pequenas e delicadas, e outro formado por grandes besouros Scarabaeidae, subfamília Dynastinae variando de 1-2 cm que visitam espécies com flores grandes e robustas especialmente de *Annona*, mas também *Cymbopetalum* e *Porcelia*, dentre outras (Gottsberger 1988, 1989a, b; Bawa 1990; Gottsberger 1994; Paulino-Neto 1999; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2003; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Paulino-Neto 2009; da Silva Elias *et al.* 2012; Paulino-Neto 2014) (Figura 1). Entretanto, segundo Paulino-Neto (observação pessoal), contrariando esta forte tendência evolutiva de flores pequenas serem visitadas por pequenos besouros nitidulídeos, foi observado no cerrado da Estação Ecológica de Itirapina, Itirapina-SP, entre os anos de 2005 a 2007, fatos muito curiosos e que merecem ser estudados com muita atenção. Besouros *Cyclocephala*, comumente encontrados em anonas de flores grandes como *A. coriacea*, *A. crassiflora* e *A. dióica* não foram observados visitando flores destas espécies por dois anos consecutivos. Tais espécies foram minuciosamente inspecionadas todos os dias durante todo período de floração, sendo vistoriadas mais de 100 plantas em cada estação. No ano seguinte a este período de sua ausência, estes besouros emergiram já na metade final da florada de *A. crassiflora*, mas início das floradas de *A. coriacea* e *A. dióica*. Entretanto, assim que *C. paraguayensis* cf. emergiram, era extremamente comum observá-los visitando flores de *X. aromatica*, cuja dimensão da câmara floral é muito menor que estes cyclocephalas, tanto que introduziam somente a cabeça no interior da flor e todo o corpo ficava para fora (Figura 3). Pelo

1994; Paulino-Neto 1999; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Paulino-Neto & Oliveira 2006; Paulino-Neto 2009; Maia *et al.* 2012a; Maia *et al.* 2012b; Maia *et al.* 2013); 5) sincronismo entre flores da mesma população de forma que no momento em que flores velhas, já polinizadas e contendo besouros em seu interior caem, há flores recém abertas e receptivas prontas para serem visitadas pelos besouros cobertos de pólen das flores velhas que acabaram de visitar recém caídas, otimizando a eficiência deste sistema de polinização tão sofisticado e repleto de incríveis adaptações. Este sistema de polinização é tão sofisticado e evoluiu de forma tão eficaz que em locais onde duas ou mais espécies de plantas co-ocorrem e apresentam mesmo escarabeídeo como polinizador principal, é comum apresentarem floração sequencial,



comportamento exibido de consumirem não só estames (pólen), mas também o gineceu (estigmas e carpelos) provocaram tantos danos nas flores que estas não produziram frutos. Assim, comportaram-se como florívoros destruindo órgãos reprodutivos e inviabilizando o desenvolvimento de frutos (Figura 4). Curiosamente, havia dezenas, talvez centenas de *C. paraguayensis* cf. em flores de *Xylopia aromatica* e nenhum destes escaravelhos foram observados em flores das três espécies de *Annona* dos arredores que continuavam sem serem visitadas por *Cyclocephala* até aquele momento. As causas da ausência de espécies de *Cyclocephala*, polinizadores característicos de espécies de *Annona* de flores grandes, que normalmente são abundantes e muito freqüentes por dois anos consecutivos precisa ser melhor investigada, bem como o efeito sobre o sucesso reprodutivo e dinâmica populacional destas plantas. Também merece serem estudadas em detalhes as causas que levaram a espécie de escaravelho, tão freqüente em espécies de *Annona* preferirem visitarem flores de *X. aromatica*, fato extremamente raro e igualmente curioso.

Dentre as espécies de Annonaceae que ocorrem no Cerrado (Maas *et al.* 2013), poucos gêneros foram estudados quanto ao sistema de polinização e mesmo dentro destes gêneros já estudados há muitas espécies ainda não estudadas. Vale ressaltar que, até o momento, *Unonopsis* é a exceção à cantarofilia em anonáceas de cerrado, sendo polinizadas por abelhas. Até o momento, *Unonopsis lindimani*, espécie característica de sub-bosque de matas de galeria, é considerada a única anonácea melitófila de Cerrado, sendo polinizada por abelhas pequenas menores que o tamanho das flores *Exomalopsis* sp. (Anthophoridae) e espécies de Halictidae (Tomé 1999).

Vale ressaltar que curculionídeos também podem estar associados a espécies de *Annona* como florívoros, ou seja, se alimentando de partes reprodutivas da flor tais como androceu (pólen) e gineceu (estigmas e principalmente óvulos). Tais besouros perfuram as pétalas de botões florais, bem como os estames que circundam o ovário e também o ovário até acessarem e se alimentar dos óvulos. Eles frequentemente ovipositam neste orifício perfurado por eles mesmo para atingir o ovário. Tais curculionídeos prejudicam o sucesso reprodutivo da planta, seja pelo dano direto causado na flor (Braga Filho *et al.* 2005; Paulino Neto & Teixeira 2006), ou devido o consumo das sementes ou aborto do fruto provocado pela ação de suas larvas (Paulino-Neto 2009, 2014). Além da ação destes curculionídeos, muitas espécies de Cerrado apresentam um ou mais fatores limitantes que merecem ser melhor investigados. É comum estudos e/ou relatos de anonáceas em que a produção de frutos



**Figura 3.** Inúmeros *Cyclocephala* sp. (Scarabaeidae) visitando simultaneamente várias flores de *Xylopia aromatica* (Annonaceae). Estes besouros são muito maiores que os polinizadores comumente encontrados no interior da câmara floral, tanto que todo corpo fica exposto do lado externo da flor.



**Figura 4.** Câmara floral de *Xylopia aromatica* após visita de *Cyclocephala* sp. (Scarabaeidae) com partes reprodutivas (gineceu e androceu) comidos e inutilizados.

é muito baixa em relação ao número total de flores produzidas, por exemplo, ocorre para *Annona coriacea*, *A. crassiflora*, *A. dioica*, *Cardiopetalum calophyllum*, *Duguetia furfuracea*, dentre outras (Paulino Neto & Teixeira 2006; Paulino-Neto 2009; da Silva Elias *et al.* 2012; Paulino-Neto 2014). Tais espécies provavelmente apresentam limitação de recursos (solo pobre em nutrientes essenciais para formação, desenvolvimento e manutenção de frutos) e/ou limitação polínica (ausência de polinizadores efetivos ou a presença deles em baixa densidade).

*Annona* é considerado um gênero altamente evoluído dentro de Annonaceae e polinizado quase exclusivamente por besouros Dynastinae (Scarabaeidae), mas com secundária diversificação em direção à polinização por Nitidulidae e outros besouros. Neste contexto, a termogênese, juntamente com as várias adaptações morfológicas e fisiológicas das flores citadas acima para atrair e manter besouros em seu interior sem serem destruídas por seus grandes e vorazes visitantes dynastídeos escarabeídeos faz com que a polinização por estes besouros seja considerada uma síndrome de polinização altamente evoluída (Gottsberger 1989b; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006). Neste sentido, flores de Annonaceae e Araceae, Magnoliaceae apresentam um conjunto de características em comum relacionadas com a polinização por besouros (cantarofilia). Dentre estas características destacam-se a não produção de néctar e a presença de uma espécie de câmara floral formada pelas pétalas (Figura 5) e em alguns casos também pelas sépalas que se curvam para o centro da flor (Figura 6) ou por suas espádices, no caso das aráceas (Figura 7). Portanto, a câmara floral destas principais famílias cantarófilas torna-se um recurso precioso e que oferece muitas recompensas a seus besouros polinizadores. Ela oferece alimento através de suas pétalas comestíveis e muito nutritivas (Figura 8) e uma grande abundância de pólen, visto que normalmente apresentam inúmeros estames (Figura 9) e ainda consiste em um local apropriado para encontrar parceiros sexuais (Figura 1), copular e ainda ovipor (Gottsberger 1970; Bernhardt 2000; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Paulino-Neto & Oliveira 2006; Chouteau *et al.* 2007; Maia *et al.* 2012a; Paulino-Neto 2014). Em adição, os besouros polinizadores normalmente habitam e se alimentam do fruto da própria planta que polinizam (Gottsberger 1970) e a emissão do cheiro semelhante ao fruto maduro e/ou em decomposição é uma estratégia extremamente sofisticada e evoluída nas anonáceas (Gottsberger 1977).



**Figura 5.** Visão interna da câmara floral de *Annona coriacea* (Annonaceae) em fase feminina apresentando conjunto de centenas de estames aderidos uns aos outros sem liberarem pólen e conjunto de inúmeros estigmas receptivos liberando exsudado viscoso e brilhante cuja função é de aderir o pólen trazido de outras flores pelos visitantes florais. Pétalas externas e internas foram afastadas para que fosse possível visualização do interior da câmara floral.

Em adição, para *Talauma ovata*, uma Magnoliaceae de Cerrado e espécie típica de matas de galeria, também foi observado forte emissão de odor semelhante à fruta madura e é visitada principalmente por *Cyclocephala* (Gottsberger 1986).

Suas flores são hermafroditas e protogínicas, ou seja, são primeiramente funcionalmente femininas posteriormente masculinas. Durante a fase feminina o conjunto de estigmas está receptivo e produzindo exsudado viscoso (proto-néctar), brilhante e grudento cuja função é aderir o pólen trazido de outras flores por visitantes florais. Os estigmas estão localizados no centro da flor e circundados por inúmeros estames que na fase feminina da flor permanecem firmemente aderidos uns aos outros e não liberam pólen (Figura 5). Já a fase masculina ocorre após o término da fase feminina, mas para algu-

mas espécies é possível haver certa sobreposição. A fase masculina tem início com o afrouxamento dos estames uns dos outros e liberação de pólen pelas anteras. Para a maioria das espécies, as quais apresentam flores formando câmara floral, o pólen e mesmo os estames se soltam do receptáculo e caem, mas ficam retidos no interior da flor (Figura 9). Estes estames e pólen caem sobre os besouros aderindo a seus corpos, o que favorece a polinização, pois ao deixarem a flor levarão consigo o pólen aderido que será transferido para próxima flor co-específica que visitar (Gottsberger 1989b, a, 1994; Dieringer *et al.* 1999; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2003; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Paulino-Neto & Oliveira 2006; Maia *et al.* 2012a; Paulino-Neto 2014).

Adicionalmente, as pétalas são bem espessas e maciças (Figuras 2 e 6), principalmente se comparar com a de espécies pertencentes a outras famílias de plantas como *Rosa* (Rosaceae), *Eugenia* (Myrtaceae) ou *Androanthus* (Bignoniaceae). As pétalas de Annonaceae além de espessas e maciças são ricas em lipídeos, carboidratos e/ou proteínas (Webber 1996; Bernhardt 2000; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006), o que torna a flor altamente nutritiva e ainda mais atraente à visitação. Flores de espécies de Annonaceae, Calycanthaceae, Cyclanthaceae, Magnoliaceae e Nymphaeaceae, além do pólen, também oferecem tecidos especiais nutritivos para seus visitantes florais (Gottsberger 1977; Chouteau *et al.* 2007).

Já a termogênese citada anteriormente consiste na elevação da temperatura no interior da câmara floral em relação à temperatura do ambiente, o que torna a flor ainda mais atrativa para os besouros e é responsável pela volatilização de odores muito específicos que atraem polinizadores especializados em cada uma das espécies em questão (Küchmeister *et al.* 1998; Ervik *et al.* 1999; Bernhardt 2000; Braun & Gottsberger 2011; Dotterl *et al.* 2012; Maia *et al.* 2012b; Gottsberger *et al.* 2013; Maia *et al.* 2013). Segundo Seymour *et al.* (2003) a ter-



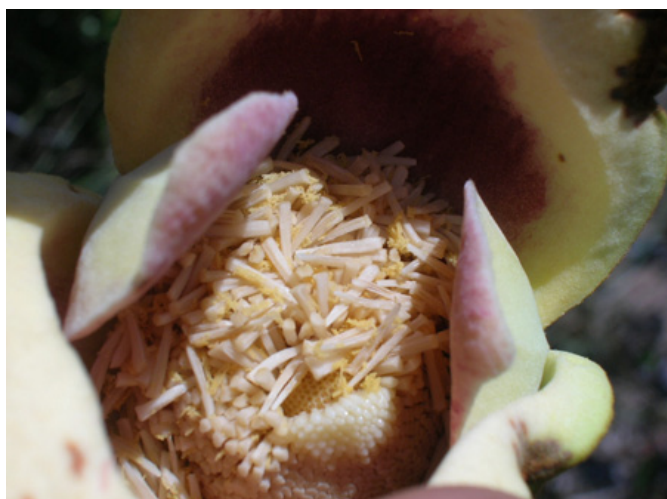
**Figura 6.** Vista frontal da flor de *Annona coriacea* (Annonaceae) com seis pétalas carnosas e maciças apresentando marcas de mordidas por insetos, e com suas três pétalas internas imbricadas e curvadas para o centro da flor formando a câmara floral dentro da qual os polinizadores encontram recursos como pétalas comestíveis e nutritivas, pólen em abundância, abrigo, parceiros sexuais e temperatura mais elevada que a do ambiente externo devido à termogênese de suas pétalas.



**Figura 7.** Vários besouros *Erioscelis emarginata* (Scarabaeidae) no interior da câmara floral de *Philodendron uliginosum* (Araceae) no Parque Estadual do Rio Preto, São Gonçalo do Rio Preto-MG. Foto cedida pela Ms. Juliana Pereira (UFOP).



**Figura 8.** *Cyclocephala quatuordecimpunctata* Man-nerheim 1829 (Scarabaeidae) visitando e se alimentando das pétalas de *Annona coriacea* (Annonaceae) no cerrado da Estação Ecológica de Itirapina-SP, Brasil.



**Figura 9.** Flor de *Annona crassiflora* (Annonaceae) já em fase masculina com conjunto de estigmas desprendido do gineceu e estames também já desprendidos do receptáculo e soltos no interior da câmara floral liberando grande quantidade de pólen.

tégia extremamente eficiente para atração da fauna de polinizadores. Mas há uma considerável variação quanto ao odor emitido e alguns se assemelham à fruta podre, outros a carne podre, alguns são bem adocicados, picante, cítricos, dentre muitos outros (Gottsberger 1989a, 1990, 1994; Dieringer *et al.* 1999; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Maia *et al.* 2012b; Gottsberger *et al.* 2013; Maia *et al.* 2013).

Associações florais entre besouros do gênero *Cyclocephala* (Scarabaeidae: Dynastinae: Cyclocephalini) e espécies de Araceae também são frequentes nos Neotrópicos (Gottsberger & Amaral 1984; Gottsberger 1986; Schatz 1990; Dieringer *et al.* 1999; Bernhardt 2000; Gibernau *et al.* 2003; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Maia & Schindwein 2006; Maia *et al.* 2010; Maia *et al.* 2012a; Maia *et al.* 2012b; Gasca-Alvarez 2013; Gottsberger *et al.* 2013; Maia *et al.* 2013; Moore & Jameson 2013; Pereira *et al.* 2014), mas ainda há poucas espécies cujos sistemas de polinização foram estudados detalhadamente em áreas de Cerrado (Gottsberger & Amaral 1984; Gottsberger & Silberbauer-

mogênese em flores polinizadas por escabeídeos ocorre amplamente nas florestas tropicais, estimando-se que cerca de 900 espécies de plantas pertencentes à pelo menos seis famílias (Cyclanthaceae, Annonaceae, Araceae, Arecaceae, Magnoliaceae e Nymphaeaceae) sejam visitadas por mais de 220 espécies de *Cyclocephala*.

Em geral, as flores de cada espécie de planta produzem odores constituídos por inúmeros compostos aromáticos extremamente eficientes como sinal olfatório para estes besouros polinizadores. Muitas vezes o odor emitido apresenta grande quantidade de compostos (Dotterl *et al.* 2012; Maia *et al.* 2012b). Pouco ainda se sabe sobre quais são os compostos principais na atratividade dos besouros polinizadores, entretanto estudos recentes têm apontado quais são os compostos químicos responsáveis pela atração dos visitantes florais e responsáveis pela alta especificidade na atração dos besouros polinizadores (Ervik *et al.* 1999; Maia *et al.* 2010; Dotterl *et al.* 2012; Maia *et al.* 2012b; Gottsberger *et al.* 2013; Maia *et al.* 2013; Pereira *et al.* 2014). As flores da maioria das espécies de Annonaceae, Calycanthaceae, Cyclanthaceae, Magnoliaceae e Nymphaeaceae emitem intensos cheiros bem similares a de sua própria fruta madura. As flores produzem odores semelhantes ao da fruta madura, pois a maioria dos efetivos besouros polinizadores se alimenta dos frutos maduros e apresentam estreita relação com os mesmos. Portanto, a emissão de odores que imitam a própria fruta madura é uma estra-

Gottsberger 2006; Dotterl *et al.* 2012; Gottsberger *et al.* 2013). De forma semelhante ao observado em anonáceas, aráceas polinizadas por dynastídeos escarabeídeos também apresentam a espádice (estrutura reprodutiva) formando uma câmara floral para abrigar os besouros visitantes (Figura 10) e grande oferta de pólen (Figura 11). Também ocorre protoginia e termogênese e emissão de odor intenso como o cheiro pungente registrado para *Philodendron* e *Caladiumi*, ambos polinizados por besouros Dynastinae dos gêneros *Cyclocephala* e/ou *Erioscelis* (Gottsberger 1986, 1990; Seymour *et al.* 2009; Dotterl *et al.* 2012; Gottsberger *et al.* 2013) (Figuras 7, 10 e 11). Há casos em que este sistema cantárfilo é tão convergente entre Annonaceae e Araceae que espécies pertencentes a ambas as famílias apresentam o mesmo polinizador, como observado por Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger (2006) e Gottsberger *et al.* (2013) para *Philodendron Mello-barretoanum* (Araceae) e várias espécies de *Annona* tais como, *A. aurantiaca*, *A. coriacea*, *A. cornifolia*, *A. crassiflora*, *A. dioica*, *A. tomentosa*, *A. monticola* e *A. warmingiana* (Annonaceae) que também apresentam *Cyclocephala atricapilla* (Scarabaeidae) seu único polinizador ou um de seus polinizadores.

Adicionalmente, em se tratando de palmeiras, a polinização por besouros ocorre predominantemente em Arecaceae mais derivadas, visto que seu modo original de polinização é entomofilia geral ou mesmo anemofilia, sem especialização por determinados grupos de insetos. No Cerrado, há estudos para poucas espécies de palmeiras indicando que besouros escarabeídeos são seus principais ou exclusivos polinizadores (Henderson 1986; Silberbauer-Gottsberger 1990; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2001; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Oliveira & Ávila 2011; Maia *et al.* 2012a) (Figura 12) e a maioria das espécies cantárfilas já estudadas são polinizadas principalmente por Nitidulidae e simultaneamente visitada por Curculionidae parasitas e/ou polinizadores (Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Paulino-Neto 2009; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2013) ou apresentam polinização mista entre estas duas famílias de besouros e abelhas



**Figura 10.** Flor de *Gearum brasiliense* (Araceae) sendo visitada por *Cyclocephala atricapilla* Mannerheim 1829 (Scarabaeidae). Foto cedida pelo Dr. Artur C. D. Maia (UFPB).



**Figura 11.** Flor de *Philodendron adamantinum* em fase masculina sendo visitada por *Erioscelis emarginata* (Scarabaeidae) cobertos de pólen no Parque Estadual do Rio Preto, São Gonçalo do Rio Preto-MG. Foto cedida pela Ms. Juliana Pereira (UFOP).



**Figura 12.** *Cyclocephala forsteri* Endrödi 1963 (Scarabaeidae) em flor da palmeira macaúba *Attalea aculeata* (Arecaceae). Foto cedida pelo Dr. Harley Nonato de Oliveira (Embrapa Agropecuária Oeste).



**Figura 13.** *Cyclocephala* sp. observado e coletado visitando inflorescência de *Attalea geraensis* (Arecaceae) no cerrado da Estação Ecológica de Itirapina-SP.

-Americano de Botânica, Bahia, Brasil, pelo convite, aos doutores Artur C. D. Maia (UFPB) e Harley Nonato de Oliveira (Embrapa) e Ms. Juliana Pereira (UFOP) pela concessão das fotos de escarabeídeos em Araceae e Arecaceae, respectivamente. Agradecimentos também aos Doutores Sergio Vanin (USP-São Paulo), Paschoal Coelho Grossi (UFRPE), Brett Ratcliffe (University of Nebraska-EUA) e pelas identificações dos besouros. Meus sinceros agradecimentos a Milene Souza Rodrigues Paulino pelo apoio incondicional durante redação deste manuscrito. Agradeço também aos revisores anônimos deste capítulo, a CAPES pela concessão da bolsa PNPD (242-26/2010).

## Referências

- Gottsberger G. 1977. Some aspects of beetle pollination in the evolution of flowering plants. **Plant Systematics and Evolution I suppl.**: 211-226.
- Gottsberger G. 1988. The Reproductive Biology of Primitive Angiosperms. **Taxon 37**: 630-643.
- Gottsberger G. 1989a. Beetle Pollination and Flowering Rhythm of *Annona* Spp (Annonaceae) in Brazil. **Plant Systematics and Evolution 167**: 165-187.

(Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2003; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2013). Paulino-Neto (2009) registrou uma espécie de *Cyclocephala* em inflorescência da palmeira *Attalea geraensis* em uma área do cerrado paulista, mas a real contribuição desta espécie como polinizador precisa ser melhor investigada (Figura 13).

Todas estas incríveis adaptações das flores à polinização pelos vorazes besouros escaravelhos (escarabeídeos) e por outro lado, a alta especificidade apresentada por tais besouros, bem como seu comportamento favorecendo a polinização torna este sistema cantarófilo muito especializado, em especial para Annonaceae (Gottsberger 1977, 1986, 1989b, a, 1990; Küchmeister *et al.* 1998; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2001; Silberbauer-Gottsberger *et al.* 2003; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006; Maia *et al.* 2012a; Paulino-Neto 2014).

## Agradecimentos

Agradeço aos doutores Dawn Frame, Helena Maura Silingardi e Gerhard Gottsberger, organizadores do livro e simpósio “Plants and Beetles: Biology, Pollination and Dispersal” realizado no XI Congresso Latino-

- Bawa K.S. 1990. Plant-Pollinator Interactions in Tropical Rain Forests. **Annual Review of Ecology and Systematics** **21**: 399-422.
- Gottsberger G. 1990. Flowers and Beetles in the South-American Tropics. **Botanica Acta** **103**: 360-365.
- Dieringer G., Cabrera L., Lara M., Loya L. & Reyes-Castillo P. 1999. Beetle pollination and floral thermogenicity in *Magnolia tamaulipana* (Magnoliaceae). **International Journal of Plant Sciences** **160**: 64-71.
- Seymour R.S., White C.R. & Gibernan M. 2003. Environmental biology: Heat reward for insect pollinators. **Nature** **426**: 243-244.
- Gottsberger G., Silberbauer-Gottsberger I., Seymour R.S. & Dotterl S. 2012. Pollination ecology of *Magnolia ovata* may explain the overall large flower size of the genus. **Flora** **207**: 107-118.
- Maia A.C.D., Carvalho A.T., Paulino-Neto H.F. & Schlindwein C. 2012a. Besouros (Insecta, Coleoptera) como polinizadores no Brasil: perspectivas no uso sustentado e conservação na polinização. Pp 153-173 In: Imperatriz-Fonseca V.L., Canhos D.A.L., Alves D.A. & Saraiva A.M. (Eds.). **Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. (São Paulo), EDUSP.
- Gottsberger G. & Silberbauer-Gottsberger I. 2006. **Life in the Cerrado: Pollination and Seed Dispersal: A South American Tropical Seasonal Ecosystem**. (Ulm: Germany), Reta Verlag.
- Gottsberger G. 1989b. Comments on Flower Evolution and Beetle Pollination in the Genera *Annona* and *Rollinia* (Annonaceae). **Plant Systematics and Evolution** **167**: 189-194.
- Smith A.B.T. 2006. A review of the family-group names for the superfamily Scarabaeoidea (Coleoptera) with corrections to nomenclature and a current classification. **Coleopterists Bulletin** **60**: 144-204.
- Ratcliffe B.C. 2008. More new species of *Cyclocephala* Dejean, 1821 from South America (Scarabaeidae : Dynastinae : Cyclocephalini). **Coleopterists Bulletin** **62**: 221-241.
- Moore M.R. & Jameson M.L. 2013. Floral associations of cyclocephaline scarab beetles. **J Insect Sci** **13**.
- Gottsberger G. & Amaral A. 1984. Pollination Strategies in Brazilian *Philodendron* Species. **Berichte Der Deutschen Botanischen Gesellschaft** **97**: 391-410.
- Gottsberger G. & Silberbauer-Gottsberger I. 1991. Olfactory and Visual Attraction of *Erioscelis-Emarginata* (Cyclocephalini, Dynastinae) to the Inflorescences of *Philodendron-Selloum* (Araceae). **Biotropica** **23**: 23-28.
- Gottsberger G. 1994. As anonáceas do cerrado e a sua polinização. **Revista Brasileira Biologia** **54**: 391-402.
- Kuchmeister H., Silberbauer-Gottsberger I. & Gottsberger G. 1997. Flowering, pollination, nectar standing crop, and nectaries of *Euterpe precatoria* (Arecaceae), an Amazonian rain forest palm. **Plant Systematics and Evolution** **206**: 71-97.
- Küchmeister H., Webber A.C., Silberbauer-Gottsberger I. & Gottsberger G. 1998. A polinização e sua relação com a termogênese em espécies de Arecaceae e Annonaceae da Amazônia Central.
- Bernhardt P. 2000. Convergent evolution and adaptive radiation of beetle-pollinated angiosperms. **Plant Systematics and Evolution** **222**: 293-320.
- Silberbauer-Gottsberger I., Webber A.C., Küchmeister H. & Gottsberger G. 2001. Convergence in beetle-pollinated Central Amazonian Annonaceae, Araceae, Arecaceae, and Cyclanthaceae. Pp 165-183. In: Gottsberger G. & Liede S. (Eds.). **Life forms and dynamics in tropical forests**. (Stuttgart), J. Cramer in der Gebrueder Bornträger Verlagsbuchhandlung. (Dissertationes Botanicae, 346).
- Dotterl S., David A., Boland W., Silberbauer-Gottsberger I. & Gottsberger G. 2012. Evidence for Behavioral Attractiveness of Methoxylated Aromatics in a Dynastid Scarab Beetle-Pollinated Araceae. **Journal of Chemical Ecology** **38**: 1539-1543.
- Maia A.C.D., Dotterl S., Kaiser R., Silberbauer-Gottsberger I., Teichert H., Gibernau M., Navarro D.M.D.F., Schlindwein C. & Gottsberger G. 2012b. The Key Role of 4-methyl-5-vinylthiazole in the Attraction of Scarab Beetle Pollinators: a Unique Olfactory Floral Signal Shared by Annonaceae and Araceae. **Journal of Chemical Ecology** **38**: 1072-1080.
- Gottsberger G., Silberbauer-Gottsberger I. & Dötterl S. 2013. Pollination and floral scent differentiation in species of the *Philodendron bipinnatifidum* complex (Araceae). **Plant Systematics and Evolution** **299**: 793-809.

- Gottsberger G. 1986. Some Pollination Strategies in Neotropical Savannas and Forests. **Plant Systematics and Evolution** **152**: 29-45.
- Webber A.C. 1996. Biologia floral, polinização e aspectos fenológicos de algumas Annonaceae na Amazônia Central. **Pós-Graduação em Biologia Tropical**. (Mamaus-AM), IMPA/FUA.
- Silberbauer-Gottsberger I., Gottsberger G. & Webber A.C. 2003. Morphological and functional flower characteristics of New and Old World Annonaceae with respect to their mode of pollination. **Taxon** **52**: 701-718.
- Maia A.C.D. & Schlindwein C. 2006. *Caladium bicolor* (Araceae) and *Cyclocephata celata* (Coleoptera, Dynastinae): A well-established pollination system in the northern Atlantic Rainforest of Pernambuco, Brazil. **Plant Biology** **8**: 529-534.
- Paulino-Neto H.F. & Oliveira P.E.A.M. 2006. As anonáceas e os besouros. **Ciência Hoje** **38**: 59-61.
- Maia A.C.D., Schlindwein C., Navarro D.M.A.F. & Gibernau M. 2010. Pollination of *Philodendron Acutatum* (Araceae) in the Atlantic Forest of Northeastern Brazil: A Single Scarab Beetle Species Guarantees High Fruit Set. **International Journal of Plant Sciences** **171**: 740-748.
- Maia A.C.D., Gibernau M., Dotterl S., Navarro D.M.D.F., Seifert K., Muller T. & Schlindwein C. 2013. The floral scent of *Taccarum ulei* (Araceae): Attraction of scarab beetle pollinators to an unusual aliphatic acyloin. **Phytochemistry** **93**: 71-78.
- Paulino-Neto H.F. 2014. Polinização e biologia reprodutiva de *Araticum-liso* (*Annona coriacea* Mart.: Annonaceae) em uma área de cerrado paulista: implicações para fruticultura. **Revista Brasileira Fruticultura** **36**: 132-140.
- Schatz G.E. 1990. Some aspects of pollination biology in Central American forests. Pp 69-84 In: Bawa K.S. & Hadley M. (Eds.). **Reproductive ecology of tropical forest plants**. (Paris), Unesco/The Parthenon Publishing Group Ltd, FR.
- Silberbauer-Gottsberger I. 1990. Pollination and Evolution in Palms. **Phyton-Annales Rei Botanicae** **30**: 213-233.
- Seymour R.S. & Schultze-Motel P. 1997. Heat-producing flowers. **Endeavour** **21**: 125-129.
- Ervik F., Tollsten L. & Knudsen J.T. 1999. Floral scent chemistry and pollination ecology in phytelephantoid palms (Arecaceae). **Plant Systematics and Evolution** **217**: 279-297.
- Chouteau M., McClure M. & Gibernau M. 2007. Pollination ecology of *Monstera obliqua* (Araceae) in french Guiana. **Journal of Tropical Ecology** **23**: 607-610.
- Paulino-Neto H.F. 2009. Heterogeneidade espaço-temporal na distribuição de recursos e interação planta-polinizador em espécies de Annonaceae: análise de variações local e regional. . **Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências**. (São Paulo-SP), Universidade de São Paulo.
- Pereira J., Schlindwein C., Antonini Y., Maia A.C.D., Dotterl S., Martins C., Navarro D.M.D.F. & Oliveira R. 2014. *Philodendron adamantinum* (Araceae) lures its single cyclocephaline scarab pollinator with specific dominant floral scent volatiles. **Biological Journal of the Linnean Society** **111**: 679-691.
- Paulino-Neto H.F. 1999. Biologia de Reprodução de Annonaceae em Matas do Brasil Central. . **Curso de Ciências Biológicas**. (Uberlândia-MG), Universidade Federal de Uberlândia.
- Rainer H. & Chatrou L.W. 2011. AnnonBase: world species list of Annonaceae – version 2.0, 07 Dec 2011. Available at: <http://www.sp2000.org> and <http://www.annonaceae.org>. Accessed 21 April 2014.
- Barroso G.M., Guimarães E.F., Ichaso C.L.F., Costa C.G. & Peixoto A.L. 2007. **Sistemática de angiospermas do Brasil**. (São Paulo), EDUSP.
- da Silva Elias M.A., Franceschinelli E.V., Juen L., Alves Borges F.J., Ferreira G.M. & Vilar de Carvalho F.M. 2012. Reproductive success of *Cardiopetalum calophyllum* (Annonaceae) treelets in fragments of Brazilian savanna. **Journal of Tropical Ecology** **28**: 317-320.
- Maas P., Lobão A. & Rainer H. 2013. Annonaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: [←http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB110506→](http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB110506). Acesso em: 21 Abr. 2014.



- Tomé C.E.R. 1999. Fenologia e biologia reprodutiva de espécies do subosque de matas de galeria do Brasil Central. **Curso de Ciências Biológicas**. (Uberlândia-MG), Universidade Federal de Uberlândia.
- Braga Filho J.R., Veloso V.D.R.S., Naves R.V. & Nascimento J.L. 2005. Danos de *Telemus chapadanus* (Casey 1922) sobre o florescimento do araticum (*Annona crassiflora* Mart.) no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical 35**: 25-29.
- Paulino Neto H.F. & Teixeira R.C. 2006. Florivory and sex ratio in *Annona dioica* St. Hil. (Annonaceae) in the Pantanal at Nhecolândia, southwestern Brazil. **Acta Botanica Brasilica 20**: 405-409.
- Gottsberger G. 1970. Biology of Annonaceae Flowers. **Osterreichische Botanische Zeitschrift 118**: 237-&.
- Braun M. & Gottsberger G. 2011. Floral Biology and Breeding System of *Anaxagorea dolichocarpa* (Annonaceae), with Observations on the Interval between Anthesis and Fruit Formation. **Phyton-Annales Rei Botanicae 51**: 315-327.
- Gibernau M., Barabe D., Labat D., Cerdan P. & Dejean A. 2003. Reproductive biology of *Montrichardia arborescens* (Araceae) in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology 19**: 103-107.
- Gasca-Alvarez H.J. 2013. New Records of *Cyclocephala* Dejean (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae) Associated with *Caladium Bicolor* (Aiton) Vent. (Araceae). **Coleopterists Bulletin 67**: 416-418.
- Seymour R.S., White C.R. & Gibernau M. 2009. Endothermy of dynastine scarab beetles (*Cyclocephala colasi*) associated with pollination biology of a thermogenic arum lily (*Philodendron solimoesense*). **Journal of Experimental Biology 212**: 2960-2968.
- Henderson A. 1986. A review of pollination studies in the Palmae. **The Botanical Review 52**: 221-259.
- Oliveira H.N. & Ávila C.J. 2011. Ocorrência de *Cyclocephala forsteri* em *Acronomia aculeata* no Estado de Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Agropecuária Tropical 41**: 293-295.
- Silberbauer-Gottsberger I., Vanin S.A. & Gottsberger G. 2013. Interactions of the Cerrado Palms *Butia paraguayensis* and *Syagrus petraea* with Parasitic and Pollinating Insects. **Sociobiology 60**: 306-316.

# BESOUROS EM FLORES DE MALPIGHIACEAE

**Helena Maura Torezan-Silingardi<sup>1</sup> and Elenice Mouro Varanda<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia, MG, Brasil.

<sup>2</sup>Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

[hmtsilingardi@gmail.com](mailto:hmtsilingardi@gmail.com)

As interações ecológicas entre insetos e plantas são muito antigas, seu surgimento data de aproximadamente 430 milhões de anos, coincidindo com o surgimento desses animais (Labandeira 1998a). Ou seja, assim que os primeiros insetos apareceram, eles encontraram nas plantas diversos tipos de recursos disponíveis, especialmente para sua alimentação. As primeiras interações ocorreram como uma relação antagônica, de herbivoria, onde apenas o animal era beneficiado e a planta prejudicada (Labandeira 1998b). Porém, com a evolução de determinadas características vegetais surgem relações harmônicas, como a polinização, vantajosa para ambas as espécies envolvidas (Bronstein 2012). A planta recebe um incremento na sua taxa de polinização, especialmente com a polinização cruzada, que é interessante para evitar a endogamia. O inseto encontra uma vasta gama de vantagens, como alimento para si e para sua prole, local para nidificar, materiais que podem ser usados para a construção do ninho e substâncias usadas para atração de parceiro sexual (Torezan-Silingardi 2012). A importância das interações ecológicas pode ser percebida, por exemplo, pela imensa quantidade de espécies de plantas e de insetos que são mutuamente dependentes para a polinização e alimentação atualmente (Del-Claro 2012; Torezan-Silingardi 2012).

As interações entre as espécies estruturam as comunidades naturais e podem ser observadas com maior facilidade nas comunidades terrestres. Os primeiros estudos focaram as relações entre dois ou três níveis tróficos, onde uma planta/produzidor era consumida por um herbívoro/consumidor, o qual servia de alimento para um predador (Janzen 1980; Price 1997). Atualmente as pesquisas abordam mais intensamente as relações multitróficas, investigando redes de interações formadas por muitas espécies, as quais podem ser apresentadas como associações entre guildas de espécies (Blüthgen 2012).

Desde o início das relações entre insetos e plantas os coleópteros já apresentavam um papel relevante na organização das comunidades graças a sua enorme riqueza de espécies e sua abundância nos mais variados ambientes. Seu hábito alimentar predominantemente herbívoro, tanto na fase larval quanto na fase adulta, mostra a grande possibilidade de interações com as plantas. Esses insetos são responsáveis por danos a todas as partes da planta, desde raízes, caules e folhas, até as estruturas reprodutivas, como botões, flores, frutos e sementes (Lima 1952).

As estruturas reprodutivas vegetais podem apresentar herbívoros (Mccall & Irwin 2006) endofíticos e exofíticos, que se alimentam no interior ou no exterior da estrutura, respectivamente (Torezan-Silingardi 2011). As interações entre herbívoros e estruturas reprodutivas são pouquíssimo conhecidas, pois a maioria dos estudos publicados se concentra principalmente nas interações que envolvem herbívoros foliares (Frame 2003).

Dentre as inúmeras plantas que oferecem flores como recurso para florívoros, ou herbívoros florais, há a família Malpighiaceae com 71 gêneros e cerca de 1250 espécies no mundo (Lombello & Forni-Martins 2002). A maior riqueza de espécies dessa família está concentrada nas áreas tropicais, sendo que no Brasil temos 43 gêneros com aproximadamente 528 espécies (Mamede *et al.* 2014).

Em uma área de Cerrado no Triângulo Mineiro foram estudadas sete espécies arbustivas da família Malpighiaceae, que apresentaram 55 espécies de coleópteros florívoros (Torezan-Silingardi 2007; Torezan-Silingardi & Varanda em preparação). Dentre eles, os principais coleópteros endofíticos pertenceram à família Curculionidae com sete espécies, sendo seis delas pertencentes ao gênero *Anthonomus*. Nas espécies endofíticas do gênero *Anthonomus*, a fêmea oviposita no interior do botão floral através de uma perfuração feita sobre as pétalas justapostas ou sobre uma das sépalas. Ali a larva obtém alimento fresco ao consumir completamente todos os estames e o pistilo, assim como grande parte das pétalas (Torezan-Silingardi 2011). Dessa forma a larva de *Anthonomus* inviabiliza totalmente a capacidade reprodutiva masculina e feminina da flor. Apesar da presença de formigas, aranhas e vespas na planta, inimigos naturais dos herbívoros, esses predadores pouco podem fazer para evitar os danos causados às flores pelas larvas dos besouros, já que na maior parte do tempo esses herbívoros estão protegidos no interior do botão (Vilela *et al.* 2014). O encontro entre os besouros herbívoros e os predadores pode ocorrer apenas durante um curto período de tempo, durante a visita das fêmeas nos botões para a oviposição. Predadores que permanecem por longos períodos sobre a inflorescência podem diminuir tanto a visita de polinizadores (Assunção *et al.* 2014) quanto de herbívoros florais, porém os predadores presentes nas inflorescências da Malpighiaceae estudada apenas passavam pelas flores. O efeito benéfico do predador é dependente da sua constância na flor, ou seja, predadores que passam rapidamente pela inflorescência fornecem apenas uma proteção temporária.

Algumas vespas predadoras são capazes de perceber e capturar a larva de *Anthonomus* no interior do botão (Torezan-Silingardi 2011; Alves-Silva *et al.* 2013). Esse comportamento da vespa auxilia a controlar a população de besouros e diminui a quantidade de dano que será causada por esses insetos na próxima florada. Além disso, com a interrupção do desenvolvimento do besouro no interior do botão, após sua captura pela vespa, os recursos energéticos da planta podem ser direcionados para os botões sadios, beneficiando a floração e frutificação.

As associações entre coleópteros florívoros de Malpighiaceae no Cerrado formam um grupo de interações complexas, com grande riqueza de espécies e abundância de indivíduos. Tais associações devem se repetir em campos rupestres, matas secas e outras florestas tropicais, como as florestas atlântica e amazônica. Além disso, interações entre coleópteros e Malpighiaceae podem indicar mecanismos envolvidos na estruturação de comunidades, e podem servir de indicativos para a escolha de áreas para projetos de conservação.

## Referências

- Alves-Silva, E.; Barônio G.J.; Torezan-Silingardi H.M. & Del-Claro K. 2013. Foraging behavior of *Brachygastra lecheguana* (Hymenoptera: Vespidae) on *Banisteriopsis malifolia* (Malpighiaceae): Extrafloral nectar consumption and herbivore predation in a tending ant system. **Entomological Science**. doi:10.1111/ens.12004. 16: 162-169.
- Assunção, M.A.; Torezan-Silingardi H.M. & Del-Claro K. 2014. Do ant visitors to extrafloral nectaries of plants repel pollinators and cause an indirect cost of mutualism? **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, 209 (5-6): 244-249.
- Blüthgen, N. 2012. Capítulo 13. Interações plantas-animais e a importância funcional da biodiversidade. In **Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva**, Organizadores K. Del-Claro e H. M. Torezan-Silingardi. 1ª ed. Rio de Janeiro. Technical Books Editora.
- Bronstein, J.L. 2012. Antagonismos e mutualismos: interações entre plantas e animais. In **Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva**, Organizadores K. Del-Claro e H. M. Torezan-Silingardi. 1ª ed. Rio de Janeiro. Technical Books Editora.

- Del-Claro, K. 2012. Origens e importância das relações plantas-animais para a ecologia e conservação. In **Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva**, Organizadores K. Del-Claro e H. M. Torezan-Silingardi. 1ª ed. Rio de Janeiro. Technical Books Editora.
- Frame, D. 2003. Generalist flowers, biodiversity and florivory: implications for Angiosperm origins. **Taxon** 52 (4): 681-685.
- Janzen, D.H. 1980. **Ecologia vegetal nos trópicos**. In Temas de biologia (Vol. 7). EPU/EDUSP.
- Labandeira, C.C. 1998a. Plant-insect associations from the fossil record. **Geotimes** 43: 18-24.
- Labandeira, C.C. 1998b. Early history of arthropod and vascular plant associations. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences** 26: 329-377.
- Lima, C. 1952. **Insetos do Brasil**. 7º Tomo. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, Série Didática nº 9 – Coleópteros.
- Lombello, R.A.; Forni-Martins E.R. 2002. Cytogenetics of twelve species of Malpighiaceae A. Juss. from Southeastern Brazil. **Caryologia** 55: 241-250.
- Mamede, M.C.H.; Amorim A.M.A.; Sebastiani R. 2014. Malpighiaceae in **Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB155>>. Acesso em: 01 Abr. 2014.
- Mccall A.C.; Irwin R.E. 2006. Florivory: The intersection of pollination and herbivory. **Ecology Letters** 9: 1351-1365.
- Price, P.W. 1997. **Insect Ecology**. United States of America: John Wiley & Sons, 874 p.
- Torezan-Silingardi, H.M. 2007. **A influência dos herbívoros florais, dos polinizadores e das características fenológicas sobre a frutificação das espécies da família Malpighiaceae em um cerrado de Minas Gerais**. Tese. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, Brasil.
- Torezan-Silingardi, H.M. 2011. Predatory behavior of *Pachodynerus brevithorax* (Hymenoptera: Vespidae, Eumeninae) on endophytic herbivore beetles in the Brazilian Tropical Savanna. **Sociobiology** 57 (1): 181-189.
- Torezan-Silingardi, H.M. 2012. Capítulo 5: Flores e animais: uma introdução à história natural da polinização. In **Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva**, Organizadores K. Del-Claro e H. M. Torezan-Silingardi. 1ª ed. Rio de Janeiro. Technical Books Editora.
- Vilela A.A.; Torezan-Silingardi H.M.; Del-Claro K. 2014. Conditional outcomes in ant-plant-herbivore interactions influenced by sequential flowering. **Flora**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2014.04.004>.

# USO Y MANEJO DE RECURSOS GENÉTICOS EN PLANTAS MEDICINALES NATIVAS: ESPECIES MODELO CON INCLUSIÓN SOCIAL

**Renée H. Fortunato<sup>1,2,4</sup> Paola A. Faroni<sup>1</sup>, María J. Nores<sup>2,5</sup>,  
Nicolás Nagahama<sup>2,3</sup>, Hernán G. Bach<sup>1</sup>, Carla M. Arizio<sup>1</sup>,  
Viviana G. Spotorno<sup>1</sup> & María M. Manifesto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Biológicos, CIRN, INTA, Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.  
[fortunato.renee@inta.gob.ar](mailto:fortunato.renee@inta.gob.ar)

<sup>2</sup> CONICET, Argentina. <sup>3</sup> Estación Experimental Agropecuaria, Esquel, INTA, Chubut, Argentina.

<sup>4</sup> Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Morón, Buenos Aires, Argentina. <sup>5</sup> Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV), Córdoba, Argentina.

## Introducción

Argentina conserva *ex situ* colecciones de germoplasma en: INTA, Bancos provinciales, Universidades Nacionales y CONICET. La mayoría de las colecciones extra INTA posee especies nativas para proteger la biodiversidad del impacto antrópico. Este proceso se ha acentuado ante la degradación de los hábitats naturales, los cambios ambientales, la fragmentación del paisaje, la contaminación, la expansión de la frontera agropecuaria y la sobre-explotación. En 1988 se creó en INTA la Red de Bancos de Germoplasma, contando con nueve activos, 12 colecciones distribuidas en diversas áreas ecológicas y un Banco Base que conserva un duplicado de lo existente en los activos. Esta Red posee más de 30.000 entradas de diferentes especies asociadas a programas de mejoramiento y de rescate de cultivos originarios, así como especies nativas de interés económico conservando el 93,5 % del germoplasma disponible en instituciones oficiales. Es su objetivo preservar la agrobiodiversidad de importancia actual y potencial. La colección producto de las investigaciones asociadas está constituida por especies cultivadas y silvestres y las emparentadas a cultivos, variedades obsoletas y variedades tradicionales. En el presente este organismo ha avanzado en la preservación *ex situ* de especies introducidas de utilidad económica, y silvestres y nativas de interés actual o potencial como en actividades de conservación *in situ* (variedades primitivas y congéneres silvestres).

Es de indicar que Argentina, se ubica en el extremo sur del continente americano con 2.795.695 Km<sup>2</sup> (sin considerar la Antártida). Esta extensión permite contrastar una amplia diversidad de climas, suelos y relieves, presentando una amplitud heterogénea (0-6.959 m s.m.) que marca los niveles más elevados del Continente Americano (Cabrera, 1994; Cabrera & Willink, 1980). Estas características permite que estén representados importantes tipos de asociación vegetal en austroamérica: Selva Subtropical a Estepa, Desierto a Región Polar; la variación de ecosistemas permite la coexistencia de intereses científicos, económicos y políticos que se encuentran aunados e integrados ante la variedad del medio.

Sobre esta base, se señala que en la Flora Argentina crecen más de 10.000 spp. (Zuloaga & Morrone, 1999; Zuloaga, Morrone & Belgrano, 2008), muchas de la cuales tienen registros de uso

medicinal. La información que se cuenta es principalmente de estudios etnobotánicos, químicos y bioquímicos, sin embargo pocas son las especies en las que los compuestos químicos presentes se han analizado y registrado para la obtención de fitofármacos.

El Instituto de Recursos Biológicos, CIRN de INTA posee como antecedente haber sido entre 1993-2003 con sede del proyecto que inició en Argentina la bioprospección de nuevos principios activos medicinales y agroquímicos. La propuesta se basó en la legislación nacional e internacional (Constitución Nacional: 1994, y Convención de Diversidad Biológica, 1993, ratificada en 1994), y fue ejecutada a través del Convenio/Contrato INTA-Universidad de Arizona (Bioactive Agents from Dryland Plants of Latin America, INTA-Argentina/University of Arizona-USA, Grant U01 TW00316 National Institutes of Health (NIH), National Science Foundation (NSF), U.S. Agency for International Development (USAID): International Cooperative Biodiversity Group (ICBG), 1993-2003). Esta evaluación previa permitió contar con información de estudios químicos, bioquímicos y etnobotánicos, de especies nativas usadas en la medicina popular. No obstante en Argentina aún son pocas las especies analizadas para la obtención de fitofármacos. Ejemplos de registros en la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT):

1) *Baccharis articulata* (Lam.) Pers. (Carqueja)

([http://www.anmat.gov.ar/EspecMed/junio/especmed\\_asociaciones\\_07.asp](http://www.anmat.gov.ar/EspecMed/junio/especmed_asociaciones_07.asp)),

2) *Cecropia pachystachya* Trécul (Ambaí) ([http://www.anmat.gov.ar/EspecMed/julio/especmed\\_asociaciones\\_06.asp](http://www.anmat.gov.ar/EspecMed/julio/especmed_asociaciones_06.asp)),

3) *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch. (Congojosa) ([http://www.misiones.gov.ar/salud/index.php?option=com\\_contentandtask=viewandid=34andItemid=1](http://www.misiones.gov.ar/salud/index.php?option=com_contentandtask=viewandid=34andItemid=1)).

Cabe señalar que en ninguna de las especies, aquí citadas, hasta el momento, se han desarrollado programas de domesticación para su adaptación a un sistema productivo. La materia prima para las distintas preparaciones proviene de la actividad extractiva de poblaciones silvestres lo que conlleva a la pérdida del recurso genético y alteración del ecosistema.

## Materiales y Métodos

Lo planteado de evaluación y caracterización de especies modelo, tienen una fase de caracterización, evaluación (incluido el desarrollo de genotecas de expresión), y posterior conservación (Red de Bancos de Germoplasma, INTA) de aquellas poblaciones que presenten biotipos promisorios con posterior selección y adaptación a cultivo, para asegurar la eficacia terapéutica del desarrollo futuro de fitofármacos. Se señala que el cultivo del germoplasma de especies/poblaciones selectas permitirá contar con un recurso nativo valorado y conservado, que estará disponible para programas de domesticación y mejora a largo plazo. Estas estrategias de preservación (semillas, *in vitro*) son las que posibilitarán contar con Recursos Genéticos ya seleccionados para su introducción en la economía formal.

Ante esta estrategia, la propuesta en ejecución incluye líneas innovativas de manejo de poblaciones silvestres en el hábitat natural (*in situ*), y en cultivo (*ex situ*), así como en la preservación en bancos de germoplasma, INTA (*ex situ*). Para su ejecución se está efectuando el relevamiento y análisis de las especies/poblaciones mediante técnicas bioquímicas y moleculares. Con el objetivo de la conservación de los biotipos identificados se han iniciado técnicas de micropropagación, y preservación de semillas con posterior introducción a cultivo en las distintas eco-regiones en donde crecen. La selección y adaptación a cultivo de las poblaciones con biotipos promisorios, permitirá asegurar la eficacia terapéutica del desarrollo de fitofármacos. Asimismo, la caracterización y conservación

del germoplasma nativo posibilitará proponer diseños y procesos tecnológicos para el mejoramiento de la calidad de vida en los territorios rurales y el crecimiento sustentable a través de un futuro uso integral y racional del recurso.

## Resultados

Se espera que la propuesta permita el inicio de un manejo económico productivo sustentable con inclusión social (grupos originarios, manejo a través de Agricultura familiar desde pequeños productores familiares, minifundistas, pobladores con carencia en el ámbito rural y periurbano, y pequeños y medianos empresarios agropecuarios), que contemple la conservación de las poblaciones silvestres y su hábitat. Este tipo de emprendimiento basado en técnicas sostenibles (social, económica y ambiental), posibilitará generar recursos nuevos y darle un valor agregado a la Flora nativa del país, fortaleciendo el desarrollo nacional, regional y territorial del sistema agropecuario y agroindustrial.

Ante lo señalado el Instituto de Recursos Biológicos a partir de 2010, se ha iniciado el desarrollo en 2 grupos modelos con potencial medicinal, cada una de las cuales reviste importancia regional en el extremo N y S del país:

- a) El género *Bauhinia* (Caesalpinioideae, Leguminosae) “pezuña de vaca, de buey, pata de vaca, escalera de mono”: actividad hipoglucemiante, antiinflamatoria, diurética o analgésica (Iribarren & Pomilio, 1983; Debenedetti, *et al.*, 1986; De Lima *et al.*, 1986; Lemus *et al.*, 1986; Silva & Cechinel Filho, 2002; Alonso, 2004; Fuentes *et al.*, 2004; Fuentes & Alarcón, 2006).
- b) Especies Norpatagónicas de *Valeriana* (Valerianaceae) “valeriana”: sedante o inductor del sueño (Conticello *et al.*, 1997; Saggese, 1959; Casamiquela, 1999; Estomba *et al.*, 2005; Ezcurra y Brión, 2005; Molares y Ladio, 2008; Bach *et al.*, 2010).

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

## Referencias

- Alonso, J. 2004. **Tratado de Fitofármacos y Nutracéuticos**. Ed. Corpus, Argentina. 1359 pp.
- Bach, H.G.; Gurni, A.A.; Fortunato, R.H. & Wagner, M. 2010. **Estudio Anatómico y Fitoquímico de “Valerianas” comercializadas en la Patagonia Argentina**. X Simposio Argentino, XIII Simposio Latinoamericano de Farmacobotánica. Córdoba, Argentina.
- Cabrera, A.L. 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. **Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería**. 2 ed. 2 (1): 85 pp. Acme S.A.C.I. Buenos Aires.
- Cabrera, A.L. & Willink, A. 1980. **Biogeografía de América Latina**. OEA, serie de biología 13: 117 pp. Washington.
- Casaniquela, R.M. 1999. Proyecto Etnobotánico de la Patagonia. Primer Informe. E. Suárez, R. H. Fortunato *et al.* (eds.) **Aspectos Técnicos, Culturales, Políticos y Legales de la Bioprospección en Argentina**. Pp.: 91-134. INTA-CENPAT (CONICET)
- Conticello, L.; Gandullo R.; Bustamante A. & Tartaglia, C. 1997. El uso de plantas medicinales por la comunidad Mapuche de San Martín de los Andes, Provincia de Neuquén. **Parodiana** 10 (1-2): 165-180.

- Debenedetti, S. L.; Miño, J.; Rojo, A. & Acevedo, C. 1986. Ensayo del efecto diurético de los extractos acuosos de *Amaranthus muricatus* (Moquin.) Gill. ex Hicken, *Bauhinia candicans* Benth. y *Smilax campestris* Griseb. **Acta farm. Bonaer.** 19 (1): 17-20.
- De Lima, T.; Takahashi, R. & Morato, G. 1986. Avaliação da possível atividade antidiabética da *Bauhinia forficata*. IX Simposio de Plantas medicinais do Brasil. Rio de Janeiro, pág 69.
- Estomba, D.; Ladio, A. & Lozada, M. 2005. Plantas medicinales utilizadas por una comunidad Mapuche en las cercanías de Junín de los Andes, Neuquén. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas** 4 (6): 107-112.
- Ezcurra, C. & Brion, C. 2005. Plantas del Nahuel Huapi. Catálogo de la Flora vascular del Parque Nacional Nahuel Huapi, Argentina. UNC, RLB. S. C de Bariloche. 70 pp.
- Fuentes, O.; Arancibia-Avila, P. & Alarcón, J. 2004. Hypoglycemic activity of *Bauhinia candicans* diabetic induced rabbits **Fitoterapia** 75: 527-532
- Fuentes, O. & Alarcón, J. 2006. *Bauhinia candicans* stimulation of glucose uptake in isolated gastric glands of normal and diabetic rabbits. **Fitoterapia** 77: 271-275.
- Iribarren, A.M. & Pomilio, A.B. 1983. Components of *Bauhinia candicans*. **J. Nat. Prod.** 46: 752-753.
- Lemus, I.R.; García, Z.; Jabsa, S.; Erazo, S. & García, H. 1986. Action hypoglucemiante de l`extrait de *Bauhinia candicans*. B. **Plantes Med. Phytother.** 20: 8-17.
- Molares, S. & Ladio, A. 2008. Plantas Medicinales en una comunidad mapuche del NO de la Patagonia Argentina: clasificación y percepciones organolépticas relacionadas con su valoración. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas** 7 (3): 149-155.
- Saggese, D. 1959. Yervas medicinales argentinas. Breves apuntes de las propiedades de 200 de las mismas e indicaciones para su uso. Rosario. Argentina.
- Silva, K. L. da & Cechinel Filho, V. 2002. Plantas do gênero *Bauhinia*: composição química e potencial farmacológico. **Química Nova** 25 (3): 449-454.
- Zuloaga, F.O. & Morrone, O. 1999. Catálogo de las plantas Vasculares de la Republica Argentina. **Monographs in Systematic Botanic from the Missouri Botanical Garden** 74:1269 pp. ISBN 0-915279-65-7. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, USA.
- Zuloaga, F.O.; Morrone O. & Belgrano, M. 2008. Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). **Monographs in Systematic Botanic from the Missouri Botanical Garden** 107 (1-2-3): 3486 pp. ISBN 978-1-930723-70-2, Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, USA.



# RECURSOS GENÉTICOS: RED DE BANCOS Y COLECCIONES DE GERMOPLASMA EN ARGENTINA

**Andrea M. Clausen<sup>1</sup>, Marcelo E. Ferrer<sup>2</sup>, María B. Formica<sup>3</sup>,  
Guadalupe Galíndez<sup>4</sup>, María Del C. Sevillano<sup>4</sup> e Beatriz Rosso<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP; EEA Balcarce INTA, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>EEA Pergamino INTA, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup>EEA Marcos Juárez INTA, Córdoba, Argentina.

<sup>4</sup>EEA Salta INTA, Salta, Argentina.

Argentina conserva *ex situ* colecciones de germoplasma en: INTA, Bancos provinciales, Universidades Nacionales y CONICET. La mayoría de las colecciones posee especies nativas para proteger la biodiversidad del impacto antrópico. Este proceso se ha acentuado ante la degradación de los hábitats naturales, los cambios ambientales, la fragmentación del paisaje, la contaminación, la expansión de la frontera agropecuaria y la sobre-explotación. En 1988 se creó en INTA la Red de Bancos de Germoplasma, contando con nueve activos, 12 colecciones distribuidas en diversas áreas ecológicas y un Banco Base que conserva un duplicado de lo existente en los activos. Esta Red posee más de 30.000 entradas de diferentes especies asociadas a programas de mejoramiento y de recate de cultivos originarios, conservando el 93,5 % del germoplasma disponible en instituciones oficiales. Es su objetivo preservar la agrobiodiversidad de importancia actual y potencial. La colección producto de las investigaciones asociadas está constituida por especies cultivadas y silvestres y las emparentadas a cultivos, variedades obsoletas y variedades tradicionales. En el presente este organismo ha avanzado en la preservación *ex situ* de especies introducidas de utilidad económica y silvestres y nativas de interés actual o potencial como en actividades de conservación *in situ* (variedades primitivas y congéneres silvestres). Es de señalar que Argentina, se ubica en el extremo sur del continente americano con 2.795.695 Km<sup>2</sup> (sin considerar la Antártida). Esta extensión permite contrastar una amplia diversidad de climas, suelos y relieves, presentando una amplitud heterogénea (0-6.959 m s.m.) que marca los niveles más elevados del Continente Americano. Estas características permite que estén representados importantes tipos de asociación vegetal en austroamérica: Selva Subtropical a Estepa, Desierto a Región Polar; la variación de ecosistemas permite la coexistencia de intereses científicos, económicos y políticos que se encuentran aunados e integrados ante la variedad del medio.



# EMERGING TRENDS IN PLANT SYSTEMATICS AND BIOGEOGRAPHY

**Lúcia G. Lohmann<sup>1</sup> & Sandy Knapp<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências,  
Departamento de Botânica, São Paulo, Brasil.

[llohmann@usp.br](mailto:llohmann@usp.br)

<sup>2</sup>Natural History Museum, Life Sciences Department,  
Plants Division, London UK.

[s.knapp@nhm.ac.uk](mailto:s.knapp@nhm.ac.uk)

**B**iodiversity represents the diversity of life on Earth in all of its levels, from genes to ecosystems, as well as the ecological and evolutionary processes that maintain it. Species documentation represents the first step towards a better understanding of the mechanisms that are responsible for the origin, maintenance and diversification of biological diversity. The scientific field that deals with the discovery, description and classification of biological diversity is called systematics. Apart from documenting biological diversity, systematics also reconstructs the evolutionary history of organisms, documents their geographic distribution, and synthesizes this information into predictive classification systems. The use of phylogenies for the study of biological diversity provides the field of systematics with an integrative power that allows the interpretation of data from many different sources within an evolutionary framework. Through this integrative approach, systematics is revolutionizing Biology in the 21<sup>st</sup> century and providing great contributions to many fields of study, especially ecology, biogeography, evolutionary biology, conservation, and sustainable development. This symposium aims to present novel approaches in plant systematics and biogeography, illustrating new methodologies and emerging trends in those fields of study.



# COLLABORATION AND DATA FOR ADVANCING UNDERSTANDING OF PLANT SYSTEMATIC

**Sandra Knapp**

Natural History Museum, Life Sciences Department, Plants Division, London UK.

[s.knapp@nhm.ac.uk](mailto:s.knapp@nhm.ac.uk)

As botanists collect more information, both from field work, herbarium digitisation and the in-depth revision of groups of plants it has become apparent that working together is one powerful way in which we can push the frontiers of understanding of plant diversity forward. Collection data form the basis for all hypotheses in taxonomy (and its synonym systematics) and as our data grow, we need to collaborate more to use it to best effect. Collections are the evidence upon which scientists base hypotheses of species circumscription, species distribution, phylogenetic relatedness and conservation threat. But what are collections? How useful are the specimens we hold in our cabinets in today's world of e-interconnection and mass data analysis, particularly of molecular data? The commonly held view in our own community is that collections are critical for the rest of the biological enterprise, as is the work of taxonomists. What kinds of collections and collaborations do we need to do 21<sup>st</sup> century taxonomy? I will explore some different models for collaboration for understanding plant diversity, propose alternatives to traditional collections, and explore both the problems in integrating new and old data for modern use and the meaning of available – just what does it mean to be available? Licensing and re-use of data is fast becoming an issue for both institutions and individuals – how available do things need to be to be scientifically useful? I will argue that indeed, collaboration and collections are critical, but that we might need to rethink just what they really are.



# WHAT IS THE FUTURE FOR BIOLOGICAL NOMENCLATURE?

**Nicholas Turland**

Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem, Freie Universität Berlin, Germany.

[n.turland@bgbm.org](mailto:n.turland@bgbm.org)

In 2011, the 18th International Botanical Congress in Melbourne approved major changes to the *International Code of Botanical Nomenclature*, one being to change the title to the *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* so as to reflect that it governs the naming not only of plants but of fungi and algae too. Changes to the content included new rules allowing electronic publication, mandatory registration of fungal names, a mechanism for establishing special lists of conserved or rejected fungal names, the abandonment of dual nomenclature for pleomorphic fungi, the abandonment of morphotaxa in fossils, a deep restructuring of the chapter on valid publication, and the option of using English instead of Latin for the validating description or diagnosis of a new taxon. I now ask a question: does the *Melbourne Code*, with all these new features, adequately serve its users today? Does the *Code* still function to minimize ambiguity in naming, thereby enabling scientists to communicate effectively about the organisms they study? Or has the *Code* become so complex that it presents an impediment to systematics? Could it be simplified, and should it better serve a broader user-group than botanists, mycologists, and phycologists and be more compatible with the naming of clades? Various concepts have been discussed over the last few decades: mandatory registration of names; lists of protected names (Names in Current Use, NCU); a new nomenclatural starting point, as was adopted for names of bacteria; unified bionomenclature (the *BioCode*); and clade-based (phylogenetic) rather than rank-based (“Linnaean”) nomenclature (the *PhyloCode*). This presentation briefly examines these ideas, looking ahead to the next opportunity to change the *Code* at the 19th International Botanical Congress, to be held in Shenzhen, China, in 2017, now only three years away.

# THE IMPACT OF POLYPLOIDY, HYBRIDIZATION, AND GENOMICS TO PLANT SYSTEMATIC

**Karol Marhold**

Institute of Botany, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia & Department of Botany, Faculty of Science, Charles University, Prague, Czech Republic.

[karol.marhold@savba.sk](mailto:karol.marhold@savba.sk)

**P**olyploidy, the whole genome duplication, is a ubiquitous phenomenon in plants. According to recent estimates, approx. 15% of angiosperm and 31% of fern speciation events have been accompanied by an increase in ploidy level. Moreover, recent data indicate that most plants have undergone one or more episodes of polyploidization during their evolutionary history. Such estimates highlight polyploidy as one of the major evolutionary forces. A detailed knowledge of the dynamic and ongoing processes of polyploidization then allows for new insights into factors responsible for maintaining and enrichment of plant diversity. For many polyploids, multiple origins in space and time have been proven, along with increased genetic diversity and complexity, whereas in other cases a single origin is proposed. Hybrid speciation is another important evolutionary phenomenon. It occurs in two possible ways, as allopolyploid or homoploid hybrid speciation, thus hybridization and polyploidization events are usually tightly coupled. These processes often result in a reticulated pattern of evolution. While in polyploids reticulation is always suspected, homoploid hybrid speciation events may be more difficult to identify and unravel. Few examples of species level studies of polyploidy and hybridization using advanced molecular approaches and their consequences for taxonomic treatments will be provided in the talk. As one of them, exploration of the history of man-induced hybridization and allopolyploidy in *Cardamine* L. (Brassicaceae) at Urnerboden, the Swiss Alps, using newly available cytogenomic and molecular approaches, and Arabidopsis-related genomic resources, will be presented. Comparative cytogenomic maps of two diploid ( $2n = 2x = 16$ ) species, *C. amara* L. (AA) and *C. rivularis* auct. (RR), were reconstructed by comparative chromosome painting. In the semi-fertile triploid hybrid *C. ×insueta* K.Urbanska-Worytkiewicz (RRA,  $2n = 24$ ), both parental genomes remained structurally stable since its origin more than a century ago. The production of RA ovules in the semi-fertile *C. ×insueta*, and reduced and unreduced pollen in the hypotetraploid *C. pratensis* L. (PPPP,  $2n = 2x-2 = 30$ ) resulted in the origin of hypopentaploid ( $2n = 5x-2 = 38$ , PPRRA) and hypohexaploid ( $2n = 6x-2 = 46$ , PPPRA) tri-genomic hybrids belonging to *C. ×schulzii* K.Urbanska-Worytkiewicz.

# THE FUTURE OF PLANT SYSTEMATICS AND TROPICAL BIODIVERSITY

**Sebsebe Demissew**

National Herbarium, Department of Plant Biology & Biodiversity Management,  
College of Natural Sciences, Addis Ababa University, Ababa, Ethiopia.

[sebseb.demissew@gmail.com](mailto:sebseb.demissew@gmail.com)

Plant Systematics is generally understood as the discipline that is concerned with reconstructing of taxa to higher categories, building classifications and naming taxa (taxonomy), and the application of this pattern knowledge to studying changes in organismal features through time. Biodiversity refers to the diversity of life on earth. It is a fact that biodiversity is not distributed evenly throughout the globe; some parts have more diversity than others and it is also true that biodiversity is not equally affected by anthropogenic and environmental factors at the same level. It is this context that led Meyer to introduce the concept of 'Biodiversity Hotspots' that currently are 34. These hotspots are identified by the number of species in general and endemic species in particular relative to over 300,000 species of plants globally. Who classified, identified and named these taxa? Undoubtedly plant systematists had the lion's share of the responsibilities in classifying, identifying and naming the species/taxa from Linnaean time to the present period. The distribution of these hotspots is mainly in the tropics. In the past plant systematics depended mainly on a collection of plant samples preserved for long-term study: a herbarium. Worldwide there are over 300 million specimens preserved for research in herbaria. There are now around 4,000 herbaria in over 165 countries usually associated with universities, museums, or botanical gardens. According to Index Herbariorum, the 10 largest herbaria in the world are in Europe and North America, not in the tropical countries with highest biodiversity. What are the challenges for Plant Systematics today and the way forward? In my view, of the many challenges, the Global Strategy for Plant Conservation, the strategic objective of which is "to halt the continuing loss of plant diversity and to secure a positive, sustainable future where human activities support the diversity of plant life". How do plant systematists address this issue with: (1) the impending loss of trained man power and training opportunity in the developed countries, and (2) the "inability to work together" between so called Traditional Systematics (mainly based on herbarium specimens or field work) and Molecular Systematists using modern approaches? And (3) the impact of High Impact Journals on Systematics and Biodiversity research and the evaluation of Systematists/biodiversity experts? Possibly as a reaction to the decline in the training in Traditional Systematics and lack of funding to carry out Systematic research, innovative ways of overcoming these have sprung in many corners in the last decade in the form of Web-based Systematics and Information. The question is do these developments enable the sharing of global taxonomic information globally or are these targeted to particular regions or blocks? In conclusion, there should be an understanding that systematics underpins biological science, provides the framework for understanding, utilizing and conserving the earth's biodiversity and there are opportunities to make the disciplines vibrant in the future if there is collaboration and cooperation by all concerned.



# AN OVERVIEW OF PLANT PHYLOGEOGRAPHY: EMERGING TRENDS AND NEW APPROACHES

**Gonzalo Nieto Feliner**

Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid, Spain.

[nieto@rjb.csic.es](mailto:nieto@rjb.csic.es)

Phylogeography was born more than two decades ago aiming to bridge two absolutely disconnected fields by that time: population genetics and phylogenetics. By interpreting patterns of genetic variation across geographic backgrounds in terms of the imprint left by historical events on organism genealogies, this early stages purported to complement population genetic traditional studies with a historical component. This initiative, led by John Avise, attracted a great number of practitioners from both fields who generated a large number of gene genealogies. However, serious limitations were unveiled in this so called comparative phylogeographic practice when equating genealogical patterns with demographic and evolutionary process without considering coalescent theory, particularly when comparing co-distributed species. As a result, a new discipline was developed during the 2000s, Statistical Phylogeography (SP), which placed emphasis on increasing the statistical rigor of phylogeographic analysis, testing alternative hypothesis, and using model-based parameter estimation and hypothesis testing. Under this view, gene genealogies lost their central role in phylogeographic inference and came to be considered 'transition variables that link data with demographic parameters under an explicit coalescent model'. In practice, SP uses coalescent population genetics to estimate ancestral demographic parameters across co-distributed taxa instead of using comparative phylogenetic approaches. SP methods still need to be tested on a wide sample of organisms in different biogeographic contexts since their use to date has been moderate in animal groups and very scarce in plants. In the meantime, it is difficult to avoid the impression that SP entails some disconnection of the disciplines that Avise tried to bridge. The active debate that has taken place during the last decade on phylogeographic methods and principles has also led to alternative proposals such as the spatial diffusion approaches, which are model-based but, unlike coalescent population genetics, reconstruct the history of a sample of sequences under a Bayesian frame. Given that the different approaches to Phylogeography imply not only different specific aims but also different formulations of what a phylogeographic hypothesis is and what sort of historical information should we be targeting, it is perhaps not exaggerated to contend that Phylogeography is at the crossroads.



# A FUNCTIONAL TRAIT PERSPECTIVE TO PLANT BIOGEOGRAPHY

**Lynn G. Clark**

Iowa State University, Department of Ecology, Evolution and Organismal Biology, Ames, USA.

[lgclark@iastate.edu](mailto:lgclark@iastate.edu)

An emerging trend in plant systematics is the integration of functional traits into a broad-scale understanding of plant diversification and distribution. In addition to geo-referenced specimen data and climate or substrate data, the use of functional traits requires species level, organismal knowledge and a phylogenetic context. The grasses, because of their diversity and ecological importance, are better studied in many respects than many other plant groups and provide a model system for examining the potential of functional traits to inform plant biogeography. Grasses also exhibit interesting variation in life form, leaf morphology and anatomy, photosynthetic pathway, and life history strategies, and thus occupy a wide range of habitats. Grasses originated in forests of the southern hemisphere, and much of their early evolution occurred in forests or woodlands. Current evidence supports a minimum of four invasions of open habitats, each time accompanied by the evolution of the “typical” grass leaf and subsequent diversification and dispersal. The correlation of C3 and C4 photosynthetic pathways with broad distribution patterns in grasses is well documented, but the importance of other functional traits such as physiological drought tolerance or cold tolerance or leaf structure in determining distribution patterns is less well understood. Examples from current work in the grass family will illustrate aspects of the use of functional trait data in plant biogeography.





# THE ASSEMBLY AND EVOLUTION OF THE NEOTROPICAL FLORA: AN INTEGRATIVE APPROACH

**Lúcia G. Lohmann**

Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, São Paulo, Brasil.

[llohmann@usp.br](mailto:llohmann@usp.br)

**T**he Neotropics represent one of the most diverse regions on Earth, contributing substantially to global systems ecology. To understand the assembly and evolution of Neotropical plant diversity, it is crucial to place present-day diversity in a historical context. Our understanding of how plant diversity has been generated and assembled, taxonomically and ecologically remains surprisingly meager, as has our knowledge about how plants have responded to historical environmental change. Major uncertainties also exist about the age, origin, and drivers of diversification of major Neotropical plant clades. Resolving historical uncertainties, as well as addressing how plants have responded to past paleogeographic and climatic events has major implications for understanding past and present environmental change. This information is also crucial for predicting the future of ecosystem structure and function at different spatiotemporal scales, as well as for understanding the generation and maintenance of biodiversity as a whole.



# FUTURE TRENDS IN BIOGEOGRAPHY

**Vicki A. Funk**

US National Herbarium, Department of Botany, Smithsonian Institution, Washington, D.C. USA.

[funkv@si.edu](mailto:funkv@si.edu)

**B**iogeography is a multidisciplinary science concerned with how and why organisms are distributed as they are on Earth. It links fields such as systematics, ecology, paleontology, and climatology, and occupies a central position in evolutionary biology, being fundamental to the study of processes such as speciation and adaptive radiation. Over the last decade, biogeography has become increasingly integrative, and has benefited from advances in statistical methods for inferring geographic range dynamics in a phylogenetic context, molecular estimation of lineage divergence times, and modeling lineage birth and death. These are enabling greater insights into patterns of organismal diversification in time and space. In the next decade, challenges include dealing with phylogenies that are increasing in size and taxonomic breadth, new sequencing technologies that produce phylogenetic and phylogeographic data sets that are increasingly genomic in depth, and occurrence data that are accumulating in online repositories. However, tools for data mining and synthetic analysis are lacking for comparative multi-lineage studies. Biogeography is entering an era characterized by phylogenomic data sets, increasingly comprehensive sampling of clades, and interdisciplinary synthesis. We anticipate continued progress in our understanding of biodiversity patterns at regional and global scales, through time and space, but this will likely require greater collaboration with specialists in bioinformatics, computational science, and climate change. Lessons learned from island biogeography are being applied to better understand extinction dynamics as continental ecosystems become more fragmented, and phylogeography and ecological niche modeling offer innovative paths toward the discovery of previously unknown species distributions. Finally, it is clear that biogeography has an increasingly important role to play in the conservation of biodiversity especially its predictive capabilities. The future of biogeography is bright, filled with exciting challenges and opportunities.

# POPULATION GENETICS AND CONSERVATION IN *SINNINGIA SPECIOSA* (LODD.) HIERN (GESNERIACEAE)

David Zaitlin<sup>1</sup> and Aureliano Bombarely Gomez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Kentucky, KTRDC, Lexington, USA.

[dzaitlin@gmail.com](mailto:dzaitlin@gmail.com)

<sup>2</sup>Virginia Tech, Department of Horticulture Blacksburg, USA.

## Introduction

Genetic diversity (GD) can be defined as the variation in DNA sequence of all genes within a species. At the population level, genetic diversity is fundamentally important as a source of genetic variation that allows individuals to survive by adapting to changes in the environment. Thus, GD is one of many forces driving evolution. Estimates of GD are derived from DNA-based studies that often use anonymous polymorphic markers, such as SSRs, located in non-coding sequences. Allelic data from these markers, which are presumed to be selectively neutral, is then used to calculate various population genetic parameters. Many such phylogeographic studies have been conducted on alpine or high arctic species to identify possible Pleistocene glacial refugia, where populations often show the highest levels of GD, and to infer historical patterns of GD resulting from recolonization (examples are Dubreuil et al. 2008; Muller et al. 2008; Kreivi et al. 2011; Pyhäjärvi et al. 2012; Pietiläinen & Korpelainen 2013; Schorr et al. 2013). DNA-based phylogeographic studies in tropical plants, and particularly plants from South America, are comparatively rare in the literature (Beheregaray 2008; Palma-Silva et al. 2009). In the tropical and subtropical Brazilian forest ecosystems, broad-scale studies of species diversity have generally focused on long-lived perennials such as trees (Lemes et al. 2003; Lira et al. 2003; Collevatti et al. 2009; Novaes et al. 2010; Oliveira et al. 2010; Buzatti et al. 2012; Turchetto-Zolet et al. 2012), although recent reports have examined genetic diversity and diversification in bromeliads, orchids, and other non-woody species that are endemic to the Brazilian Atlantic forest (BAF) (Lorenz-Lemke et al. 2005; Palma-Silva et al. 2009; Pinheiro et al. 2011; Mäder et al. 2013; Longo et al. 2014).

*Sinningia speciosa* (Gesneriaceae) is an herbaceous, tuberous perennial that is endemic to the Atlantic coastal forest of southeastern Brazil, one of the richest and most threatened biodiversity hotspots in South America, known for its large number of vascular plants and high levels of species endemism and complexity. *S. speciosa* became popular as a hothouse ornamental soon after its introduction to Great Britain in 1815, and it remains best known to the public through its many large-flowered cultivars, which are still sold as 'gloxinias' in the horticultural trade. H.E. Moore (1957) developed a general classification scheme for the wild and cultivated forms of the species, although his descriptions of the various wild forms are based entirely on plants that were illustrated in botanical magazines during the 19<sup>th</sup> century. Today, we know that *S. speciosa* is a highly variable, morphologically diverse species that is distributed broadly across the Brazilian states of Rio de Janeiro, Espírito Santo, and Minas Gerais. Discoveries over the past 25 years, mainly by Alain Chautems and Mauro Peixoto, have revealed the extent



**Figure 1.** Diversity in *Sinningia speciosa*. A – part of a large population growing on a vertical granite face along Avenida Niemeyer in southern Rio de Janeiro. B – the typical form of *S. speciosa* from Armação dos Búzios in southeastern RJ state. C – plant growing on a hilltop near Cardoso Moreira, RJ. D – adult plant in a population growing on an earthen bank adjacent to a dirt road near the town of São Fidelis, RJ. E – large plant with dark leaves and silver veins growing on rocks above the stream Córrego da Xica in RJ state. F – a distinctive form of *S. speciosa* from a population growing on rocks along a stream near the Hotel Fazenda Pedra Lisa in RJ state. All plants photographed in habitat by D. Zaitlin in 2011 (A, C, F) and 2013 (B, D, E).

of the diversity (Fig. 1), and have enabled a more complete understanding of the species. It is also apparent that *S. speciosa* exists presently as a patchwork of isolated populations, many of which are small, in a highly fragmented distribution. After 500 years of deforestation for agriculture and settlement, some of the observed range fragmentation is undoubtedly due to human activities, but it remains to be determined whether anthropogenic effects can also account for the morphological (and presumed genetic) differentiation observed between populations of *S. speciosa*.

As a research subject, *S. speciosa* possesses traits that make it an excellent model for plant genetics. Unlike *Arabidopsis thaliana*, *S. speciosa* has large flowers that accumulate significant levels of anthocyanin pigments, and it is a long-lived species that produces a perennial tuber. Cultivated forms of *S. speciosa* can be transformed with foreign DNA sequences, and fertile plants can be regenerated from culture (Pang et al. 2006; Zhang et al. 2008). Similar to *A. thaliana*, *S. speciosa* produces many small seeds and is readily inbred to homozygosity; in addition, it has a small genome that shows intraspecific size variation (250–300 Mbp; Zaitlin & Pierce 2010). It is interesting to note that →40 years ago, Clayberg (1970) proposed using a relative of *Sinningia speciosa*, *S. pusilla*, as a model for plant genetics because of its very small size, rapid growth in culture, and relative ease of producing phenotypic mutants via chemical mutagenesis of seeds.

Presented here are the results of two preliminary DNA-based phenetic and phylogenetic studies undertaken to investigate the levels of molecular diversity in *S. speciosa*. The long-term goal of this research is to use genomic sequence data and population genetics to describe the species in its broadest context and to assess the need for possible conservation strategies. Using next-generation sequencing (Illumina technology), we will identify large numbers of genetic polymorphisms that can then be used to examine population structure, levels of heterozygosity and allelic richness, effective population sizes, and population divergence times in *S. speciosa*.

## Material and Methods

Plant material and DNA extraction: DNA was extracted from leaf tissue of plants grown from seed using a commercial kit designed for plants. For details see Zaitlin & Pierce (2010) and Zaitlin (2012).

Amplified fragment length polymorphism (AFLP): AFLP assays were performed essentially as described by Vos et al. (1995), but modified for fluorescent detection as described by Zhang et al. (2012). Further details of AFLP methods/data analysis can be found in Zaitlin (2012).

nrITS amplification and sequencing: The internal transcribed spacer region of the 18S-26S nuclear rDNA repeat (nrITS) was amplified from *Sinningia* genomic DNA using primers ITS6 (Zaitlin 2012) and ITS8m (modified from Möller & Cronk 1997). For sequencing methods and primers see Zaitlin (2012).

The nrITS region DNA sequences were aligned manually with Se-Al v2.0a11 (Rambaut 2007). Maximum likelihood (ML) analysis was performed on the *Sinningia* nrITS alignment with MEGA 5.03 (Tamura et al. 2011), using the Tamura-Nei substitution model with gamma distribution (TN93+G) to estimate rate variation across nucleotide sites. Reliability of the phylogenetic tree was estimated by bootstrapping (BS) with 1,000 replications.

Genome sequencing: A single plant of *S. speciosa* 'Avenida Niemeyer' was chosen for genome sequencing. This plant was derived from the original collection made by C.M. Fitch in 1975 (Zaitlin 2012) by four generations of single-seed descent. DNA was extracted from crude leaf nuclei to reduce level of cpDNA using a modification of Protocol A of Lutz et al. (2011). The ~300 Mbp *S. speciosa* genome was sequenced using short-read data (2x101 cycle paired-end reads from 500 bp DNA fragments) generated on an Illumina HiSeq 2500 instrument to ~75-fold depth (22.5Gb) at the Genomics Resources Core Facility (GRCF) at Weill Cornell Medical College. Two mate-pair libraries were also sequenced to 42-fold (2-kb) and 49-fold (5-kb) depth at Weill Cornell GRCF. Additional paired-end reads (2x250 cycles; 300 bp DNA fragments) were generated on a single at the University of Kentucky Advanced Genetic Technologies Center (Illumina MiSeq; 20X coverage). The genome was assembled from 253 million 100-base PE reads, 15 million 250-base PE reads, 144 million 100-base MP reads (2 kb fragments) and 166 million 100-base MP reads (5 kb fragments). Sequence reads were processed using Fastq-mcf (with -q 30 and -l 50). Duplications were removed with PrinSeq and reads were corrected with Musket. This gave a total of 578 million short sequence reads for a total of ~166X genome coverage.

The *S. speciosa* genome was assembled *de novo* using SOAPdenovo2 (Luo et al. 2012) with different kmer sizes (31, 39, 47, 55, 63, 71, 79, and 87). The different assemblies were compared using the N50/L50 and the scaffolds/contigs bigger than 100 Kb. The assembly generated with a kmer size of 87 was selected. The gaps were filled with GapCloser (Luo et al. 2012). To date, the total cost of acquiring DNA sequence data for this project has been US\$7,532.

## Results

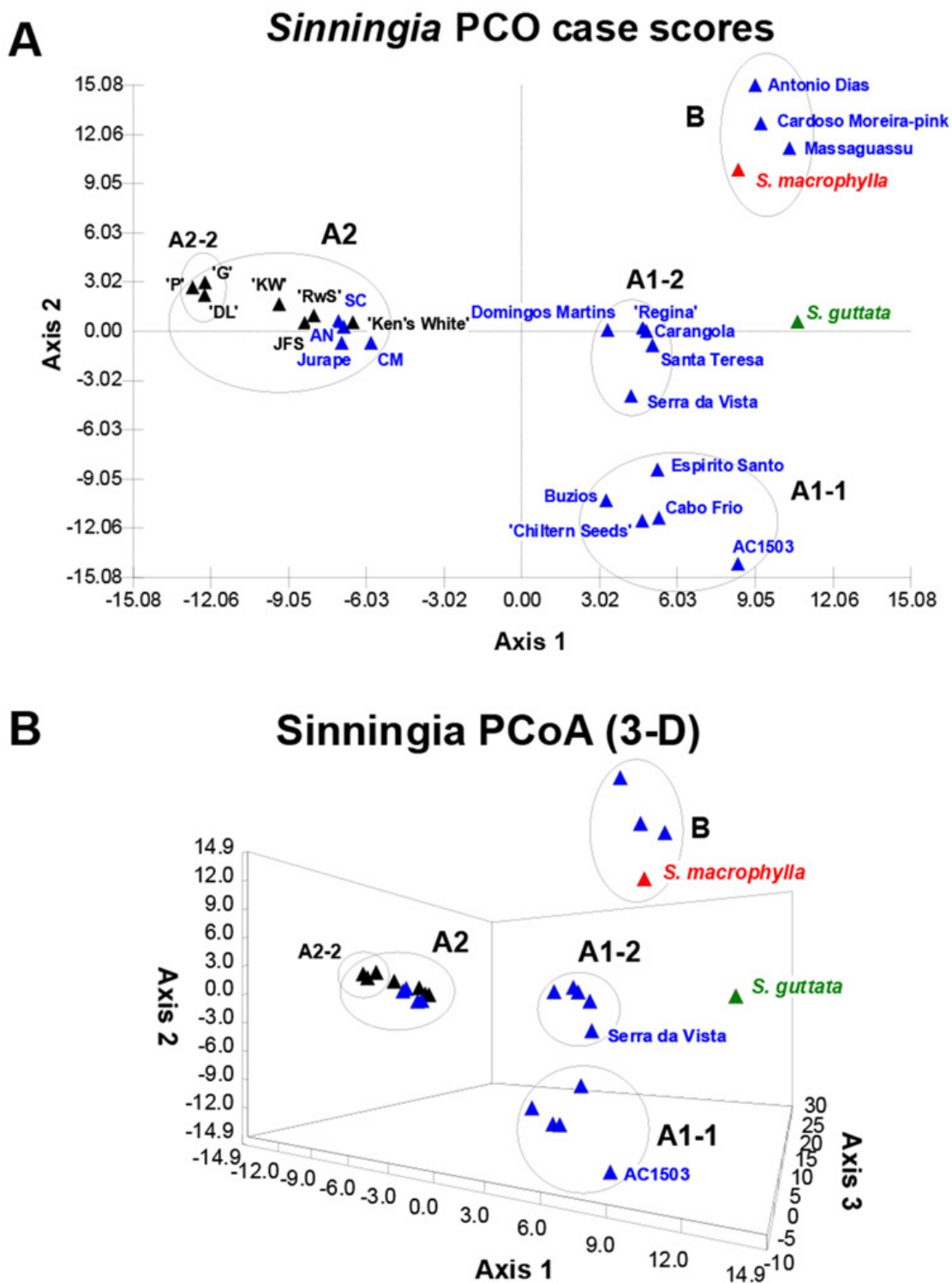
Two methods were used to investigate the relationships within a group of 24 wild and cultivated accessions of *S. speciosa*. A single accession of *S. macrophylla* was included, along with an accession of *S. guttata* as the outgroup. A phenetic analysis of the AFLP data was appropriate because of the genetically dominant nature of these markers, and it provided an estimate of the relative similarities between the accessions without regard to morphological characters. Evolutionary relationships were reconstructed cladistically, based on an alignment of the sequences of the nuclear ribosomal internal transcribe spacer regions (nrITS). Detailed discussions of these two analyses can be found in Zaitlin

(2012). Several newer collections of *S. speciosa* have been added to the nrITS-based intraspecific phylogeny in the two years since publication of Zaitlin (2012).

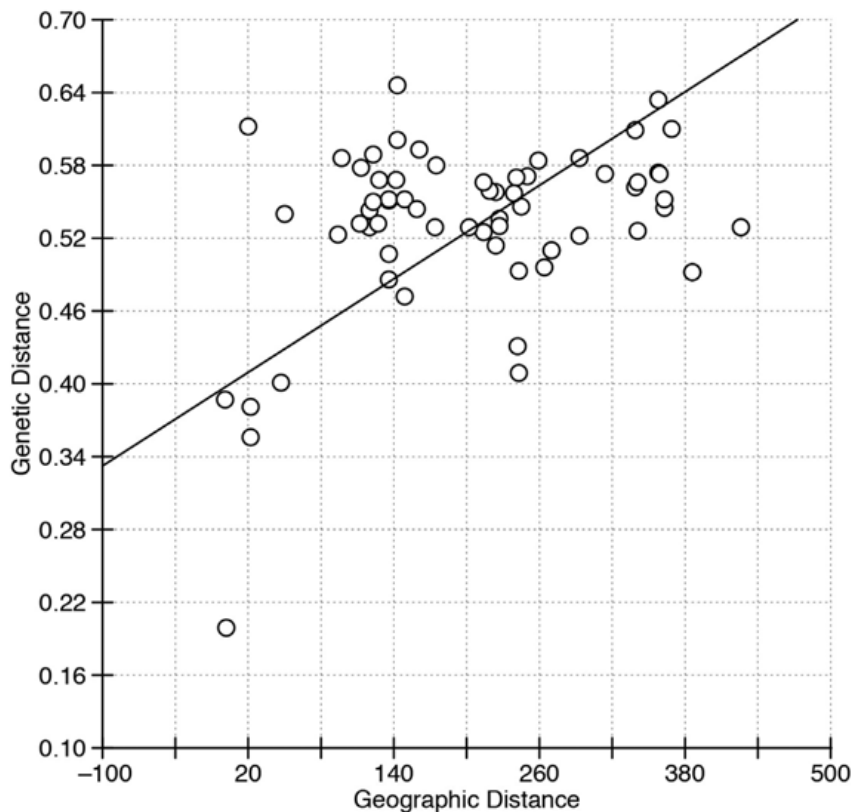
AFLP: four primer pairs produced 587 fragment bins in the set of 26 plant accessions. For the 24 *S. speciosa* accessions, there were 563 fragment bins, of which 99% were polymorphic. The AFLP data matrix was subjected to Principal Coordinates Analysis (PCoA) to visualize relationships among the 26 plant samples. Euclidean distances computed between each pair of variables are projected as coordinates on a set of orthogonal axes, with similar cases grouping together. Eigenvalues for the first three principal coordinates axes were 11.121, 8.883, and 7.803, representing 27.806% of the total variation. Fig. 2 shows the distribution of the *Sinningia* accessions in two and three dimensions (panels A and B, respectively). From this analysis, it is clear that four distinct clusters are evident in the scatterplots, and that *S. guttata* is well separated from all the *S. speciosa* accessions and *S. macrophylla* along all three axes. Cluster A1-1 contains plants collected from the Cabo Frio region of Rio de Janeiro state (AC1503, 'Cabo Frio', and 'Búzios') and very southern Espírito Santo state ('Espírito Santo'), as well as one unknown accession ('Chiltern Seeds'); A1-2 contains plants with dark-colored foliage from Espírito Santo state ('Domingos Martins' and 'Santa Teresa') and northern Rio de Janeiro state ('Serra da Vista'), as well as a collection from southern Minas Gerais ('Carangola') and a cultivated wild accession of unknown provenance ('Regina'); cluster A2 is made up of all the cultivated 'gloxinias' ('Purple', 'Dona Lourdes', 'Guatapara', 'Kaiser Wilhelm', JFS4512, and 'Red with Spots'), two collections from southern Rio de Janeiro city ('São Conrado' and 'Avenida Niemeyer'), as well as two wild collections of uncertain origins ('CM' and 'Jurapê'); cluster B contains *S. macrophylla*, single accessions of *S. speciosa* from northern Rio de Janeiro state ('Cardoso Moreira-pink') and Minas Gerais ('Antônio Dias'), and one unconfirmed wild collection ('Massaguassu').

Genetic distance estimates derived from the AFLP data were plotted against calculated geographic distances for all pairwise combinations of wild *S. speciosa* accessions. The unverified collections 'Jurapê', 'CM' and 'Massaguassu' were excluded from this analysis. Linear regression of the data shows a positive relationship between genetic and geographic distances for *S. speciosa* in southeastern Brazil (Fig. 3). The Mantel test, as implemented in IBDWS version 3.23 (Bohonak 2002; Jensen et al. 2005), indicated that the matrices of genetic and physical distances were significantly correlated ( $Z=7525.992$ ,  $r=0.3530$ ,  $p<0.0053$ ). This relationship held for all combinations of arithmetic and logarithmic values derived from the AFLP data, but not for genetic distance estimates calculated from phylogenetic comparisons of the nrITS sequences (not shown).

nrITS: the entire nuclear ribosomal internal transcribed spacer region (nrITS), which includes ITS1, the 5.8S ribosomal RNA gene, and ITS2, was amplified from 30 accessions of *S. speciosa*, and the single accessions of *S. macrophylla* and *S. guttata*. Included were the 24 accessions of *S. speciosa* used previously for the AFLP analysis and five additional collections made since 2012 ('São Fidelis', 'Pedra Lisa', 'Imbé', 'Cachoeira da Fumaça', and a second 'Cardoso Moreira'). All amplified DNA fragments were purified and sequenced directly except for the region from 'Kaiser Wilhelm', which was polymorphic and was cloned prior to sequencing. For the *Sinningia* nrITS sequences, there was no indication of paralogous loci or pseudogene amplification, and criteria used to determine whether the ITS regions are part of functional rDNA repeats were met (Besnard et al. 2009). In addition, the *S. speciosa* 5.8S RNA genes were invariant, and the length (164 bp) is within the range published for other angiosperms (160–165 bp; see references in Zaitlin 2012). Comparisons with other published ITS sequences showed that the *S. speciosa* ITS1+5.8S+ITS2 region is 622 bp in length, and that the lengths of ITS1 and ITS2 are 236 bp and 222 bp, respectively. The full alignment of the 32 ITS sequences was 624 nucleotides in length, which included a 1-bp gap in both ITS1 and ITS2. There were 33 (5.3%) parsimony-informative sites in the alignment, 16 in ITS1, 14 in ITS2, and 3 in the 5.8S RNA gene. There were 52 singleton sites; 18 in ITS1, 1 in the 5.8S gene, and 33 in ITS2. Eighty-six per cent (537/624) of the sites were conserved and there was no missing or ambiguous data.



**Figure 2.** Principal Coordinates Analysis (PCoA) of the *Sinningia* AFLP data. The relationships between 24 accessions of *S. speciosa* and single accessions each of *S. guttata* and *S. macrophylla* are shown in 2-D (A) and 3-D (B) scatterplots. The circled groupings are labeled to show their affiliations with clusters in a Dice/UPGMA tree generated from the same data (Zaitlin 2012). *S. guttata* is shown in green, *S. macrophylla* in red, wild *S. speciosa* are in blue, and cultivars are in black. Abbreviations in cluster A2 (panel A) are: Avenida Niemeyer (A), Sao Conrado (S), 'Purple' ('P'), 'Dona Lourdes' ('DL'), 'Guatapara' ('G'), 'Kaiser Wilhelm' ('KW'), JFS4512 (JFS), and 'Red with Spots' ('RwS'). Serra da Vista and AC1503 are labeled in panel B for clarity. Eigenvalues for the first three PCO axes were 11.121, 8.883, and 7.803, respectively. Panel A of this figure was reproduced from Zaitlin (2012) with permission (©D. Zaitlin).

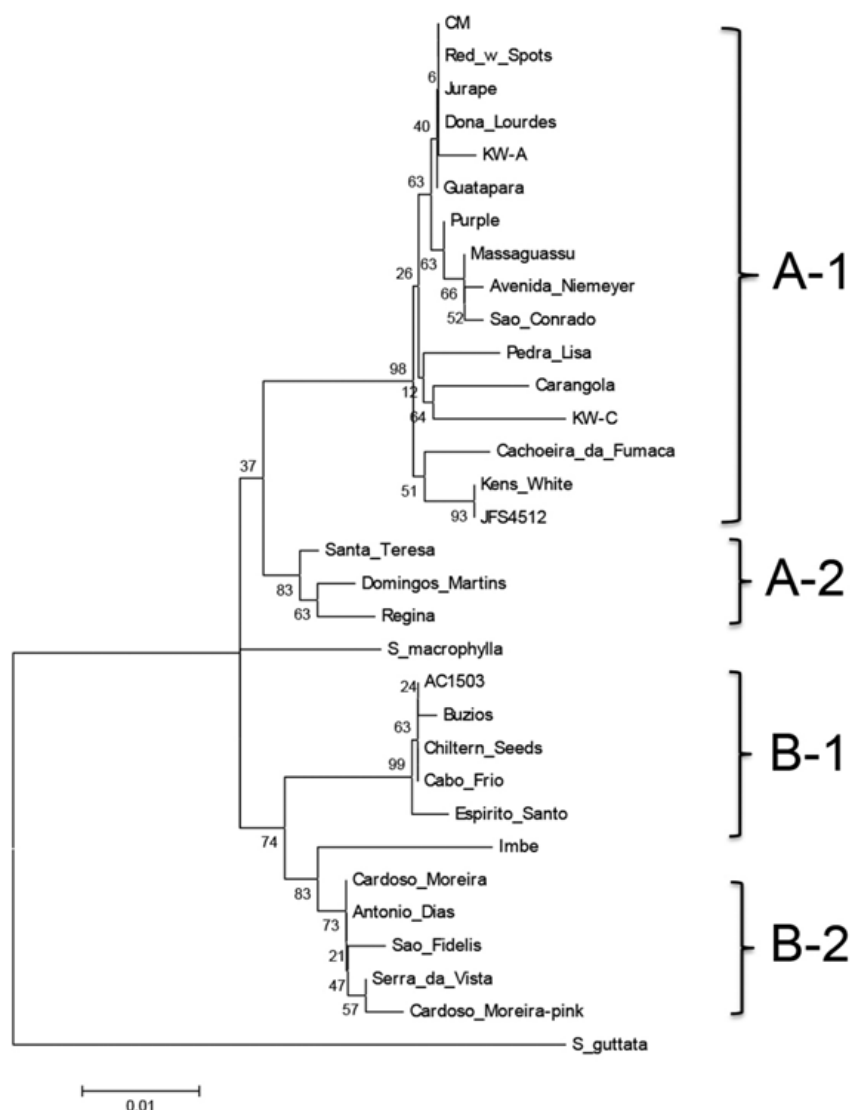


**Figure 3.** Isolation-by-distance (IBD) analysis for 12 wild collections of *S. speciosa*. Genetic distances were calculated from the AFLP data using NTSYSpc (Rohlf 2009), and the geographic distances were calculated from GPS coordinates using the web-based GPS Visualizer tool (see text). The Mantel test of significance and the IBD plot were calculated with IBDWS v. 3.23 (Jensen et al. 2005). In the linear regression, the equation for the line was  $y=0.000642x + 0.3966$  ( $R^2=0.125$ ). Three unverified *S. speciosa* accessions ('CM', 'Massaguassu' and 'Jurapê') were excluded from this analysis. Figure reproduced from Zaitlin (2012) with permission (©D. Zaitlin).

Within the wild *S. speciosa* group, the highest level of sequence divergence was 27 of 622 nucleotides (4.3%) between 'Carangola' and 'Imbé', while the greatest divergence for all of *S. speciosa* (wild + cultivars) was between 'Imbé' and 'Kaiser Wilhelm' clone 'C' at 4.8% (30 out of 623 with a 1-bp gap). These numbers are comparable to levels of intraspecific nrITS divergence previously reported for angiosperms (0-5%; see Zaitlin 2012). In the Gesneriaceae, relatively low levels of intraspecific nrITS variation were found in *Lysionotus pauciflorus* from populations in China, Taiwan, and Japan (~1.4%, calculated from data in Kokubugata et al. (2011) and two species of *Streptocarpus* in South Africa (~3%; Hughes et al. 2005), while much higher levels of sequence divergence, up to 7.68%, were found for ITS1+ITS2 in *Aeschynanthus* (Denduangboripant et al. 2001).

Maximum likelihood (ML) analysis of the *Sinningia* nrITS alignment grouped the 32 sequences into two major clades, with *S. guttata* well separated as the outgroup. The consensus BS tree (1,000 replicates; LogL= -1614.78) is shown in Fig. 4. Each of the major clades contains two subclades, with statistical support ranging from 83-99%. All of the cultivated forms grouped with plants known to originate from Rio de Janeiro (city) in the largest clade. Also included are plants from western and northern RJ state ('Cachoeira da Fumaça' and 'Pedra Lisa', respectively), and 'Carangola' from Minas Gerais state. Two collections of uncertain affiliation, 'Massaguassu' and 'Jurapê', are also found in this clade. The three collections with dark-colored leaves and silver veins, 'Santa Teresa', 'Domingos Martins', and 'Regina', form a distinct subclade affiliated with the largest clade. Plants collected in the extreme eastern region of RJ state ('Búzios', 'Cabo Frio', and AC1503) grouped together in a





**Figure 4.** Maximum likelihood phylogenetic tree calculated from the *Sinningia* nrITS DNA sequence alignment. Bootstrap percentages (1,000 replicates; LogL= -1614.78) are shown next to the nodes for all clades. All PCR-amplified ITS fragments (~850 bp) were purified and sequenced directly with the exception of those from the “gloxinia” cultivar ‘Kaiser Wilhelm’ which were polymorphic and were first cloned into the vector pGEM-T (Promega, Madison WI). The nucleotide sequences of two of these clones (KW-A & KW-C) were included in the phylogenetic analysis.

well-supported clade (BS=99) that includes one plant from somewhere in southern ES state (‘Espirito Santo’), and a cultivated wild form of unknown provenance (‘Chiltern Seeds’). The final well-supported subclade (BS=83) contains plants from RJ state (‘Cardoso Moreira’, Cardoso Moreira-pink’, Serra da Vista, ‘Imbé’, and ‘São Fidelis’) and a single plant from MG state (‘Antônio Dias’).

## Genome sequence

The nuclear genome sequence of *S. speciosa* ‘Avenida Niemeyer’ was assembled from  $5.78 \times 10^8$  Illumina sequence reads (paired-end and mate-pair) using SOAPdenovo2. The current assembly (v0.2.1) has a total size of 373 Mb (362 Mb without gaps) distributed among 34,977 scaffolds (50,799 contigs) with an N50 = 462 sequences and L50 = 151,915 bp (N50 = 1,989 sequences and L50 = 41,979 bp for contigs).

## Discussion

The objective of this study was to examine intraspecific relationships within a group of wild collections and cultivars of *S. speciosa*. Principal Coordinates Analysis (PCoA) was performed on the *Sinningia* AFLP data matrix to visualize the genetic relationships within a group of 24 accessions of *S. speciosa*. Included as outgroups were one accession each of *S. guttata* and *S. macrophylla*, the two species that are phylogenetically closest to *S. speciosa* (Perret et al. 2003). The two independent analyses of two different data sets included in this study show that the available wild collections of *S. speciosa* comprise a genetically diverse group, and the estimates of genetic distance (GD) calculated from the AFLP data are positively correlated with geographic distance, indicating that the observed diversity could result from reproductive isolation.


Analysis of the binary AFLP data grouped the *S. speciosa* accessions into four distinct clusters. The largest cluster, A2, contains all of the cultivars, along with two plants from the beach areas in the southern part of Rio de Janeiro city (Avenida Niemeyer' and 'São Conrado') and two plants of uncertain affiliation ('CM' and 'Jurapê'). The organization of this cluster provides evidence that the cultivated 'gloxinias' of horticulture are derived from plants originally collected in or around Rio. It is interesting to note that the three cultivars with large, nodding (wild-type) flowers ('Dona Lourdes', 'Purple', and 'Guatapara') form a small subcluster (A2-2), and two of these ('Dona Lourdes' and 'Guatapara') are presumed to be tetraploids (Zaitlin & Pierce 2010). Cluster A1-1 contains three plants collected in the Cabo Frio region of southeastern Rio de Janeiro state (AC1503, 'Buzios', and 'Cabo Frio'). The very close identity with 'Cabo Frio' implies that the commercial accession 'Chiltern Seeds' also comes from that area. The four members of cluster A1-1, including 'Espírito Santo', are united by their common morphology in that they are relatively small plants with distinctive bright green foliage and small lavender flowers. Cluster A1-2 contains three accessions ('Domingos Martins', 'Regina', and 'Santa Teresa') that have dark-colored leaves with silver veins and purple flowers. 'Regina' has been in cultivation for  $\rightarrow$ 100 years but is of unknown origin (Sprague 1904), while both 'Domingos Martins' and 'Santa Teresa' are from Espírito Santo state. The results of this study imply that 'Regina' is also from Espírito Santo. 'Carangola', a unique form with bi-colored flowers from Minas Gerais, resides in cluster A1-2, and 'Serra da Vista' a dark-leaved form from RJ state, also shows affinity with this group. Cluster B contains *S. macrophylla* and three wild collections of *S. speciosa* – 'Antônio Dias', 'Cardoso Moreira-pink', and 'Massaguassu'. 'Antônio Dias' and 'Cardoso Moreira-pink' have elongated stems and are morphologically distinct from the other wild forms of *S. speciosa* included in this study, and 'Massaguassu' is of unconfirmed origin.

The phylogenetic (ML) analysis of the *S. speciosa* nrITS sequence alignment gave four clades that correspond generally to the clusters in the PCoA analysis of the AFLP data. While some differences between the two analyses are to be expected ('Carangola' and 'Massaguassu' are in the largest clade with the cultivars and plants from Rio de Janeiro, and 'Serra da Vista' is now closest to 'Cardoso Moreira-pink'), the general degree of congruence is remarkable. As in the PCoA, all cultivars group together in clade A-1, along with plants known to be from Rio de Janeiro (Avenida Niemeyer' and 'São Conrado'). Included also are two recently added collections 'Pedra Lisa' and 'Cachoeira da Fumaça', both from RJ state. Of particular interest is the 'Cabo Frio' group, which defines a highly-supported ML clade (B-1; BS=99) that contains the same accessions as PCoA cluster A1-1 (Fig. 2). Together, the two analyses provide a strong indication that plants from the southeastern part of RJ comprise a uniform group. The Cabo Frio area is ~160 km (100 miles) east of Rio de Janeiro, yet the plants from these two regions are morphologically dissimilar, and appear to represent two distinct genetic lineages (Figs 2 & 4). The Avenida Niemeyer population is on the west side of Guanabara Bay, which may have been a major barrier to east-west migration of the species along the coast. Unfortunately, there has not been a comprehensive survey of the coastal road between Rio de Janeiro and Cabo Frio for

populations of *S. speciosa*, although there is an anecdotal account of populations at Saquarema, ~60 km west of Cabo Frio (V. Ferreira, personal communication).

As mentioned above, *S. speciosa* occupies a relatively large geographic area (~400,000 km<sup>2</sup>) in the central Brazilian Atlantic forest (BAF), and many populations are known. Consequently, the species is not presently listed in the IUCN Red List. However, the “List of Species of Flora and Fauna Threatened with Extinction in the State of Minas Gerais” ([www.biodiversitas.org.br](http://www.biodiversitas.org.br)) includes *S. speciosa*; the status is given as “Vulnerable” (VU), and the IUCN Category is B1ab(iii); limited range, severely fragmented habitat with projected decline in area, extent and/or quality of habitat (IUCN 2014). From the preliminary assessment of GD presented here, it is apparent that *S. speciosa* is highly variable and consists of several distinct phylogeographic lineages with potentially different evolutionary histories. To assess the need for possible conservation, however, the species needs to be properly described. At present, populations of *S. speciosa* are poorly defined, even for the most basic population metrics such as area, number of individuals, soil type, and floristic associations. Also, the true limits of the species’ geographical range are unknown at present. Another issue is the taxonomic status of the closely related species *S. macrophylla*. The results presented here indicate that this species falls within the range of molecular variation for *S. speciosa*, and it occupies a position between the major A and B clades in the nrITS phylogenetic tree (Fig. 4). While *S. macrophylla* is found in southern Bahia (Thomas 2007), *S. speciosa* is not known to occur north of the Rio Doce, and all herbarium specimens identified as *S. speciosa* from southern Bahia are, in fact, the purple-flowered form of *S. richii* (A. Chautems, personal communication). Further molecular phylogenetic studies need to be performed to determine whether *S. macrophylla* is a valid species or should be included within *S. speciosa*.

One common theme that has emerged from molecular genetic studies in the BAF is the presence of a major north-south phylogeographic discontinuity. This was first recognized for a number of vertebrate species in analyses of mitochondrial DNA sequences (summarized in Martins 2011), with the N-S division often centered on the Rio Doce Valley in central ES. For plants in the central and southern BAF, the splits are generally identified somewhat south of the Rio Doce, between approximately 20° and 24°S latitude, and can be generally attributed to multiple cycles of forest expansion/contraction that resulted from climatic oscillations in the Pleistocene. Lower levels of GD in southern BAF populations are interpreted as being a sign of recent range expansion or re-colonization, while higher levels of GD in more northerly populations indicate relative stability (Carnaval et al. 2009). This is very clearly shown in a study of diversity in the bromeliad *Vriesea gigantea*; analysis of both nuclear and plastid DNA markers revealed a deep phylogenetic split in the species at around 23°S, the present-day border between São Paulo and Rio de Janeiro states, with a decline in GD from north to south (Palma-Silva et al. 2009). In the endangered Brazilian rosewood, *Dalbergia nigra* (Fabaceae), Ribeiro et al. (2011) sampled 19 populations in the BAF and detected three major cpDNA phylogeographic groups (NG, SG1, & SG2), ascribed to historical vicariance events that occurred in the Pleistocene. This study detected a strong differentiation between the northern group, NG, and SG1 at ~18°S, and a secondary split between the two southern groups (SG1 & SG2) at ~21°S. The lowest GD was found in SG2, the most recently established and most southern lineage of *D. nigra* (Ribeiro et al. 2011). Analysis of cpDNA sequences in the legume tree *Plathymentia reticulata* showed that its major center of diversity is in north-central Minas Gerais, with signals of recent range expansions (reduced GD) to other areas. This species also showed a phylogeographic disjunction for populations north and south of the Rio Doce Valley (Novaes et al. 2010; see Martins 2011). Similar patterns of phylogeographic disjunction and/or decreasing GD from north to south were also detected in the legume tree species *Caesalpinia echinata* (plastid SSRs), *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (cpDNA), and *Schizolobium parahyba* (cpDNA and nuclear ITS) in the central and northern BAF (Lira et al. 2003; Ramos et al. 2009; Turchetto-Zolet et al. 2012), and in *Passiflora actinia* (nuclear ITS) and *Epidendrum fulgens* (nuclear and plastid SSRs) in the southern BAF (Lorenz-Lemke et al. 2005; Pinheiro et al. 2011).



*S. speciosa* is endemic to the south-central BAF, with most of the known populations occurring in the two states RJ and ES. Climate modeling predicts forest retractions due to increased aridity and lower temperatures in the southern and southeastern BAF during the Last Glacial Maximum (LGM, ~21,000 years before present), as well as a large evergreen forest refuge (the Bahia refuge) extending from the Rio Doce north along the coast to the Rio São Francisco (Carnaval & Moritz 2008). This model is validated by pollen studies and also by recent phylogeographical studies in several plant and animal species (see above). The C-M model also predicts a scenario of instability for the southern BAF, in which the area south of the Rio Doce would not support a continuous subtropical forest during the LGM; again, this is reflected in the general reduction in GD detected for many plant phylogeographical lineages in this region (see above). Thus, we can ask whether the present range scenario for *S. speciosa* (highly fragmented, morphologically diverse populations) is due to dispersal and adaptation, or is the result of historical climatic events (vicariance) that occurred in the Pleistocene or before. A third scenario is that the current range of *S. speciosa* in the south-central BAF has been influenced by deforestation and other human activities; indeed, anthropogenic effects have been detected as a reduction in GD in Brazilian rosewood trees (*D. nigra*) located in small forest fragments vs. those growing in large reserves (Ribeiro et al. 2011). A comprehensive phylogeographic investigation of *S. speciosa* populations may well contribute substantially to our knowledge of the evolutionary history of the southern BAF.

There is empirical evidence that populations of *S. speciosa* are highly inbred, and many of these may reproduce primarily by self-pollination or outcrossing to closely related individuals. In a dozen sites visited in RJ, ES, and MG states, the plants were always very uniform in appearance within each population, with little apparent morphological diversity, despite the fact that the various local forms of *S. speciosa* are quite distinct from one another (see Fig. 1). Flowers of *S. speciosa* express a suite of physical and chemical characteristics that are indicative of bee pollination (Perret et al. 2001), and population isolation could be enhanced if pollinator flight distances are relatively short. In addition, self-incompatibility has not been detected in *Sinningia*, and all wild forms of *S. speciosa* presently in cultivation are fully self- (and cross-) compatible. Inbreeding and physical isolation could imply that there are low levels of GD present within populations, that there is little, if any, gene flow occurring between populations, and that the observed differences between populations could result from founder effects. The consequences of high levels of self-pollination and inbreeding for *S. speciosa* are: (1) reductions in GD within populations (but increased GD between populations), (2) reduced gene flow, (3) increased homozygosity, (4) possible negative fitness effects due to inbreeding depression and decreased heterozygosity, (5) a reduction in effective population size relative to outcrossers, and (6) increased risk of extinction (Wright et al. 2013). In addition, predominantly self-pollinating species can show marked morphological differentiation between populations (Gottlieb 1984; Wright et al. 2013; Longo et al. 2014), which is what we observe in *S. speciosa*. Extensive population surveys, and range-wide sampling of populations is needed to examine the extant distribution and patterns of GD in *S. speciosa*.

We have produced a high-quality draft assembly of the *S. speciosa* genome. Our near-term goals are to improve the assembly, possibly with additional mate-pair sequencing data, and then to use RNAseq data to begin the process of gene prediction and annotation. In the longer term, this genome sequence will be made available to the plant science community, and will be a fundamental resource for comparative genomic studies in tribe Sinningieae and in other neotropical Gesneriaceae. The genome sequence will allow us to rapidly identify a large number of genetic polymorphisms (SNPs and indels) in *S. speciosa* by aligning genomic sequence reads from other accessions to the reference genome. We can also employ reduced representation methods, such as genotyping-by-sequencing (GBS; Elshire et al. 2011; Sonah et al. 2013), to develop thousands of polymorphic markers for construction of a linkage map for *S. speciosa*, and to then relate the genomic contigs and scaffolds to chromosomes on the physical map. Most importantly, we will now be able to collect population genetic

data on a previously unimaginable scale. This kind of data will allow us to quantify allelic richness and gene flow within/between natural populations, and will also enable us to examine the possible importance of genetic drift in the evolution of *S. speciosa*. We will be able to formulate and test hypotheses about the length of time that populations have been isolated from one another, the identity of the most basal lineage of *S. speciosa*, and patterns of dispersal for this species within the BAF (see Viruel et al. 2012). For purposes of conservation, we can use genomic data to quantify GD across the genome, which will allow us to identify lineages or populations of *S. speciosa* that harbor novel combinations of alleles. This, in turn, will make it possible to determine whether any of the distinct forms of *S. speciosa* warrant taxonomic classification below the species level. Finally, the genome sequence can be used to describe the genomic differences between wild and cultivated forms of *S. speciosa* by identifying genes gained or lost during selection and domestication.

## Acknowledgments

The authors would like to thank KTRDC and Professor Ling Yuan for providing infrastructure and partial financial support of the research reported here. We are also particularly indebted to The Gesneriad Society for their financial contribution to the sequencing of the *Sinningia speciosa* genome through an award to DZ from the Elvin McDonald Research Endowment Fund.

## References

- Beheregaray, L.B. 2008. Twenty years of phylogeography: the state of the field and the challenges for the Southern Hemisphere. **Molecular Ecology** **17**: 3754-3774.
- Besnard, G., Rubio de Casas, R., Christin, P.-A. & Vargas, P. 2009. Phylogenetics of *Olea* (Oleaceae) based on plastid and nuclear ribosomal DNA sequences: Tertiary climatic shifts and lineage differentiation times. **Annals of Botany** **104**: 143-160.
- Bohonak, A.J. 2002. IBD (Isolation by Distance): a program for analysis of isolation by distance. **Journal of Heredity** **93**: 153-154.
- Buzatti, R.S.O, Ribeiro, R.A., Lemos Filho, J.P. & Lovato, M.B. 2012. Fine-scale spatial genetic structure of *Dalbergia nigra* (Fabaceae), a threatened and endemic tree of the Brazilian Atlantic Forest. **Genetics and Molecular Biology** **35**: 838-846.
- Carnaval, A.C., & Moritz, C. 2008. Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography** **35**: 1187-1201.
- Carnaval, A.C., Hickerson, M.J., Haddad, C.F.B., Rodrigues, M.T. & Moritz, C. 2009. Stability predicts genetic diversity in the Brazilian Atlantic forest hotspot. **Science** **323**: 785-789.
- Clayberg, C.D. 1970. Genetics and culture of a new laboratory plant, *Sinningia pusilla*. **Journal of Heredity** **61**: 11-14.
- Collevatti, R.C., Rabelo, S.G. & Vieira, R.F. 2009. Phylogeography and disjunct distribution in *Lychnophora ericoides* (Asteraceae), an endangered cerrado shrub species. **Annals of Botany** **104**: 655-664.
- Denduangboripant, J., Mendum, M., & Cronk, Q.C.B. 2001. Evolution in *Aeschynanthus* (Gesneriaceae) inferred from ITS sequences. **Plant Systematics and Evolution** **228**: 181-197.
- Dubreuil, M., Riba, M. and Mayol, M. 2008. Genetic structure and diversity in *Ramonda myconi* (Gesneriaceae): effects of historical climate change on a preglacial relict species. **American Journal of Botany** **95**: 577-587.
- Elshire, R.J., Glaubitz, J.C., Sun, Q., Poland, J.A., Kawamoto, K., Buckler, E.S. & Mitchell, S.E. 2011. A robust, simple genotyping-by sequencing (GBS) approach for high diversity species. **PLoS ONE** **6**: e19379. doi 10.1371/journal.pone.0019379

- Gottlieb, L.D. 1984. Genetic and morphological evolution in plants. **American Naturalist** **123**: 681-709.
- Hughes, M., Möller, M., Bellstedt, D.U., Edwards, T.J. & de Villiers, M. 2005. Refugia, dispersal and divergence in a forest archipelago: a study of *Streptocarpus* in eastern South Africa. **Molecular Ecology** **14**: 4415-4426.
- IUCN 2014. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1. ←<http://www.iucnredlist.org>→.
- Jensen, J.L., Bohonak, A.J. & Kelley, S.T. 2005. Isolation by distance, web service. **BMC Genetics** **6**: 13. v.3.23 <http://ibdws.sdsu.edu/>.
- Kokubugata, G., Hirayama, Y., Peng, C.-I., Yokota, M. & Möller, M. 2011. Phylogeographic aspects of *Lysionotus pauciflorus sensu lato* (Gesneriaceae) in the China, Japan and Taiwan regions: phylogenetic and morphological relationships and taxonomic consequences. **Plant Systematics and Evolution** **292**: 177-188.
- Kreivi, M., Aspi, J. & Leskinen, E. 2011. Regional and local spatial genetic structure of Siberian primrose populations in Northern Europe. **Conservation Genetics** **12**: 1551-1563.
- Lemes, M.R., Gribel, R., Proctor, J. & Grattapaglia, D. 2003. Population genetic structure of mahogany (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) across the Brazilian Amazon, based on variation at microsatellite loci: implications for conservation. **Molecular Ecology** **12**: 2875-2883.
- Lira, C.F., Cardoso, S.R.S., Ferreira, C.G., Cardoso, M.A. & Provan, J. 2003. Long-term population isolation in the endangered tropical tree species *Caesalpinia echinata* Lam. revealed by chloroplast microsatellites. **Molecular Ecology** **12**: 3219-3225.
- Longo, D., Lorenz-Lemke, A.P., Mäder, G., Bonatto, S.L. & Freitas, L.B. 2014. Phylogeography of the *Petunia integrifolia* complex in southern Brazil. **Botanical Journal of the Linnean Society** **174**: 199-213.
- Lorenz-Lemke, A.P., Muschner, V.C., Bonatto, S.L., Cervi, A.C., Salzano, F.M. & Freitas, L.B. 2005. Phylogeographic inferences concerning evolution of Brazilian *Passiflora actinia* and *P. elegans* (Passifloraceae) based on ITS (nrDNA) variation. **Annals of Botany** **95**: 700-806.
- Luo, R., Liu, B., Xie, Y., Li, Z., Huang, W., Yuan, J., He, G., Chen, Y., Pan, Q., Liu, Y., Tang, J., Wu, G., Zhang, H., Shi, Y., Liu, Y., Yu, C., Wang, B., Lu, Y., Han, C., Cheung, D.W., Yiu, S.-M., Peng, S., Zhu, X., Liu, G., Liao, X., Li, Y., Yang, H., Wang, J., Lam, T.-W. and Wang, J. 2012. SOAPdenovo2: and empirically improved memory-efficient short-read *de novo* assembler. **GigaScience** **1**: 18.
- Lutz, K.A., Wang, W., Zdepksi, A. & Michael, T.P. 2011. Isolation and analysis of high quality nuclear DNA with reduced organellar DNA for plant Genome sequencing and resequencing. **BMC Biotechnology** **11**: 54.
- Mäder, G., Fregonezi, J.N., Lorenz-Lemke, A.P., Bonatto, S.L. and Freitas, L.B. 2013. Geological and climatic changes in quaternary shaped the evolutionary history of *Calibrachoa heterophylla*, an endemic South-Atlantic species of petunia. **BMC Evolutionary Biology** **13**: 178.
- Martins, F.M. 2011. Historical biogeography of the Brazilian Atlantic forest and the Carnaval-Moritz model of Pleistocene refugia: what do phylogeographical studies tell us? **Biological Journal of the Linnean Society** **104**: 499-509.
- Möller, M. & Cronk, Q.C.B. 1997. Origin and relationships of *Saintpaulia* (Gesneriaceae) based on ribosomal DNA internal transcribed spacer (ITS) sequences. **American Journal of Botany** **84**: 956-956.
- Moore, H.E. Jr. 1957. **African Violets, gloxinias, and their relatives**. A guide to the cultivated gesneriads. New York, The Macmillan Company.
- Muller, M.-H., Leppälä, J. & Savolainen O. 2008. Genome-wide effects of postglacial colonization in *Arabidopsis lyrata*. **Heredity** **100**: 47-58.
- Novaes, R.M.L., de Lemos Filho, J.P., Ribeiro, R.A. & Lovato, M.B. 2010. Phylogeography of *Plathyenia reticulata* (Leguminosae) reveals patterns of recent range expansion towards northeastern Brazil and southern Cerrados in Eastern Tropical South America. **Molecular Ecology** **19**: 985-998.
- Oliveira, L.O.D., Rossi, A.A.B., Martins, E.R., Batista, F.R.D.C. & Silva, R.S. 2010. Molecular phylogeography of *Carapichea ipeacuanha*, an amphitropical shrub that occurs in the understory of both semideciduous and evergreen forests. **Molecular Ecology** **19**: 1410-1422.
- Palma-Silva, C., Lexer, C., Paggi, G.M., Barbará, T., Bered, F. & Bodanese-Zanettini, M.H. 2009. Range-wide patterns of nuclear and chloroplast DNA diversity in *Vriesea gigantea* (Bromeliaceae), a neotropical forest species. **Heredity** **103**: 503-512.

- Pang, J.-L., Wang, L.-L., Hu, J.-Q., Xiang, T.-H. & Liang, H.-M. 2006. Synergistic promotion of gibberellin and cytokinin on direct regeneration of floral buds from *in vitro* cultures of sepal segments in *Sinningia speciosa* Hiern. **In Vitro Cellular & Developmental Biology** **42**: 450-454.
- Perret, M., Chautems, A., Spichiger, R., Peixoto, M. & Savolainen, V. 2001. Nectar sugar composition in relation to pollination syndromes in Sinningieae (Gesneriaceae). **Annals of Botany** **87**: 267-273.
- Perret, M., Chautems, A., Spichiger, R., Kite, G. & Savolainen, V. 2003. Systematics and evolution of tribe Sinningieae (Gesneriaceae): evidence from phylogenetic analysis of six plastid DNA regions and nuclear *ncpGS*. **American Journal of Botany** **90**: 445-460.
- Pietiläinen, M. & Korpelainen, H. 2013. Population genetics of purple saxifrage (*Saxifraga oppositifolia*) in the high Arctic archipelago of Svalbard. **AoB PLANTS** **5**: plt024; doi: 10.1093/aobpla/plt024
- Pinheiro, F., de Barros, F., Palma-Silva, C., Fay, M.F., Lexer, C. & Cozzolino, S. 2011. Phylogeography and genetic differentiation along the distributional range of the orchid *Epidendrum fulgens*: a Neotropical coastal species not restricted to glacial refugia. **Journal of Biogeography** **38**: 1923-1935.
- Pyhäjärvi, T., Aalto, E. & Savolainen, O. 2012. Time scales of divergence and speciation among natural populations and subspecies of *Arabidopsis lyrata* (Brassicaceae). **American Journal of Botany** **99**: 1314-1322.
- Rambaut, A. 2007. Se-AL: Sequence Alignment Editor. Available at <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/seal/> [accessed August 2014]
- Ramos, A.C.S., de Lemos-Filho, J.P. & Lovato, M.B. 2009. Phylogeographical structure of the neotropical forest tree *Hymenaea courbaril* (Leguminosae: Caesalpinioideae) and its relationship with the vicariant *Hymenaea stagnocarpa* from cerrado. **Journal of Heredity** **100**: 206-216.
- Ribeiro, R.A., Lemos-Filho, J.P., Ramos, A.C.S. & Lovato, M.B. 2011. Phylogeography of the endangered rosewood *Dalbergia nigra* (Fabaceae): insights into the evolutionary history and conservation of the Brazilian Atlantic Forest. **Heredity** **106**: 46-57.
- Rohlf, F.J. 2009. NTSYSpc: numerical taxonomy and multivariate analysis system, version 2.2. Setauket, NY: Exeter Software.
- Schorr, G., Pearman, P.B., Guisan, A. & Kadereit, J.W. 2013. Combining palaeodistribution modelling and phylogeographical approaches for identifying glacial refugia in Alpine *Primula*. **Journal of Biogeography** **40**: 1947-1960.
- Sonah, H., Bastien, M., Iquiria, E., Tardivel, A., Légaré, G., Boyle, B., Normadeau, E., Laroche, J., Larose, S., Jean, M. & Belzile, F. 2013. An improved genotyping by sequencing (GBS) approach offering increased versatility and efficiency of SNP discovery and genotyping. **PLoS ONE** **8**: e54603. doi:10.1371/journal.pone.0054603
- Sprague, T.A. 1904. *Sinningia regina*. **Gardener's Chronicle** **36** (3<sup>rd</sup> series): 87-88.
- Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M. & Kumar, S. 2011. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. **Molecular Biology and Evolution** **28**: 2731-2739.
- Thomas, W.W. 2007. Survival of the rarest. **Natural History** **116**: 24-27.
- Turchetto-Zolet, A.C., Cruz, F., Vendramin, G.G., Simon, M.F., Salgueiro, F., Margis-Pinheiro, M. & Margis, R. 2012. Large-scale phylogeography of the disjunct Neotropical tree species *Schizolobium parahyba* (Fabaceae-Caesalpinioideae). **Molecular Phylogenetics and Evolution** **65**: 174-182.
- Viruel, J., Catalán, P., & Segarra-Moragues, J.G. 2012. Disrupted phylogeographical microsatellite and chloroplast DNA patterns indicate a vicariance rather than long-distance dispersal origin for the disjunct distribution of the Chilean endemic *Dioscorea biloba* (Dioscoreaceae) around the Atacama Desert. **Journal of Biogeography** **38**: 1073-1085.
- Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijmans, M., van de Lee, T., Hornes, M., Frijters, A., Pot, J., Peleman, J., Kuiper, M. and Zabeau, M. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. **Nucleic Acids Research** **23**: 4407-4414.
- Wright, S.I., Kalisz, S. & Slotte, T. 2013. Evolutionary consequences of self-fertilization in plants. **Proceedings of the Royal Society B** **280**: 20130133.



- Zaitlin, D. & Pierce, A.J. 2010. Nuclear DNA content in *Sinningia* (Gesneriaceae); intraspecific genome size variation and genome characterization in *S. speciosa*. **Genome 53**: 1066-1082.
- Zaitlin, D. 2012. Intraspecific diversity in *Sinningia speciosa* (Gesneriaceae: Sinningieae), and possible origins of the cultivated florist's gloxinia. **AoB PLANTS 2012**: pls039; doi: 10.1093/aobpla/pls039
- Zhang, M.-Z., Ye, D., Wang, L.-L., Pang, J.-L., Zhang, Y.-H., Zheng, K., Bian, H.-W., Han, N., Pan, J.-W., Wang, J.-H. & Zhu, M.-Y. 2008. Overexpression of the cucumber *LEAFY* homolog of *CFL* and hormone treatments alter flower development in gloxinia (*Sinningia speciosa*). **Plant Molecular Biology 76**: 419-427.
- Zhang, S., Gao, M. & Zaitlin, D. 2012. Molecular linkage mapping and marker-trait associations with *NIRPT*, a downy mildew resistance gene in *Nicotiana langsdorffii*. **Frontiers in Plant Science 3**: 185. doi: 10.3389/fpls.2012.00185.





# PARTE 3



# ESTUDOS MACRO E MICROEVOLUTIVOS EM *PHILODENDRON* (ARACEAE) E SUAS IMPLICAÇÕES NA TAXONOMIA E CONSERVAÇÃO DAS ESPÉCIES DO GÊNERO

**Cássia Mônica Sakuragui<sup>1</sup>, Letícia Loss de Oliveira<sup>2</sup>,  
Luana Brauck Calazans<sup>1</sup>, Carlos Guerra Schrago<sup>2</sup>,  
Antônio Sole Cava<sup>2</sup> e Anderson Villas Boas<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia, Departamento de Botânica, Brasil.  
[cmsakura12@gmail.com](mailto:cmsakura12@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia,  
Departamento de Genética, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Departamento de Genética, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

## Introdução

O gênero *Philodendron* é dividido em três subgêneros de acordo com as características florais, vegetativas e distribuição geográfica: *Meconostigma* (Schott) Engler, *Pteromischum* (Schott) Mayo e *Philodendron* (Mayo 1986). O primeiro deles é composto por 21 espécies (Mayo 1991; Gonçalves & Salviani 2002; Croat *et al.* 2002), apresenta distribuição no sul do Brasil, se estendendo pela Bacia Amazônica; o segundo apresenta cerca de 75 espécies e ocorre na região neotropical, incluindo o México e as Antilhas; o terceiro, por sua vez, apresenta 375 espécies distribuídas em 10 seções e 11 subseções (Coelho 2000) que ocorrem em sua maioria na Amazônia brasileira e não brasileira.

As relações evolutivas entre os subgêneros já foi abordada em alguns trabalhos principalmente através da análise de caracteres morfológicos (e.g. Mayo 1986, 1988, 1989) e moleculares (Gauthier *et al.*, 2008; Cansação 2008). A maioria dessas análises aponta para o monofiletismo desses grupos. A exceção está no trabalho de Cansação (2008), que não abordou essa temática em sua pesquisa.

Apesar de tais indícios, a evolução das espécies de *Philodendron* ainda se mantém pouco abordada, sobretudo sob a ótica molecular. O trabalho mais recente e expressivo sobre o assunto foi o desenvolvido por Gauthier *et al.* (2008), que utilizou 55 espécies representantes de todos os subgêneros. Entretanto, dentre essas espécies, poucas ocorrem no Brasil.

## Material e Métodos

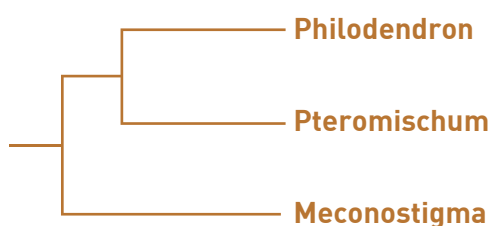
Foram amostrados 275 espécimes de *Philodendron*, representando 112 espécies. Foram utilizados os seguintes marcadores moleculares: o gene *matK* somado à porção 3' do íntron de *trnK*; a região *trnL-trnF*, que é constituída pelo íntron de *trnL* e pela região intergênica entre *trnL* e *trnF*, o íntron *rpl16*

e o espaçador externo transcrito, ETS. A amplificação dos genes foi feita por *Polymerase Chain Reaction* (PCR) e a avaliação do sucesso das reações foi obtida pela realização de eletroforese em gel de agarose 1,0%. No caso das ampliações em que se observou bandas inespecíficas no gel, foi realizada a extração da banda de DNA do tamanho desejado através do kit da QIAGEN QIAquick Gel Extraction Kit. Os produtos de PCR foram purificados através do kit GE GFX PCR DNA and Gel Purification Kit. O sequenciamento foi realizado através de sequenciamento automático no sequenciador ABI 3130 ou através do envio dos produtos amplificados para sequenciamento automático pela empresa MacroGen (sequenciador Applied Biosystems 3730xl). Os seis grupos de sequências para os seis marcadores foram alinhadas pelo algoritmo ClustalW (Thompson *et al.* 1994) no programa SeaView versão 4 (Gouy *et al.* 2010). Dada a variedade e a complexidade dos padrões de substituição específicos de cada região do genoma, foi essencial a escolha de modelos evolutivos que incorporassem tais particularidades (Nei & Kumar 2000). Assim, para estimar o modelo de evolução de cada gene foi utilizado o programa HyPhy – *Hypothesis Testing Using Phylogenies* (Pond *et al.* 2005), especificamente a rotina ModelTest (Posada & Crandall 1998). O programa utilizado para a realização das análises filogenéticas por máxima verossimilhança foi o PhymL, através do servidor ALTIX XE320. A estabilidade dos nós estimada por 1000 réplicas de bootstrap (Felsenstein 1985) Todas as topologias foram visualizadas no programa FigTree versão v1.3.1 (<http://tree.bio.ed.ac.uk/>) e editadas no programa Inkscape (<http://inkscape.org/>).

## Resultados preliminares e discussão

A maioria das filogenias obtidas não foi suficientemente informativa com relação ao monofiletismo e relações evolutivas entre os subgêneros de *Philodendron*, devido à baixa resolução e valores de bootstrap.

Ao mesmo tempo, uma análise concatenada, ainda que diminua o erro sistemático devido ao aumento no número de caracteres, não constitui um agrupamento natural. Pesquisas recentes baseadas em simulação de sequências multigênicas demonstram que o concatenamento de genes pode gerar uma estimativa equivocada de taxas evolutivas (Degnan & Rosenberg 2006) e não recuperar a árvore de espécies (Kubatko 2007), o que é especialmente preocupante já que muitas vezes os grupos são recuperados com elevado suporte estatístico (Heled & Drummond 2010).



**Figura 1.** Relações evolutivas entre os subgêneros de *Philodendron* de acordo com Mayo (1986).

Dentre as árvores obtidas nesse trabalho, a estimada com base no ETS foi a única que apresentou uma boa resolução dos grupos e maiores valores de bootstrap, apontando para o monofiletismo dos três subgêneros de *Philodendron* e para o parafiletismo de *Homalomena*. O subgênero *Pteromischem* se apresentou mais relacionado às homalomenas asiáticas, enquanto *Meconostigma* às *Homalomena* americanas. O subgênero *Philodendron* aparenta ser mais relacionado aos dois últimos.

Mayo (1986), em sua tese de doutorado, realizou um estudo sistemático do gênero através principalmente da anatomia floral e propôs que *Meconostigma* seria o subgênero mais basal, se apresentando como irmão de *Pteromischem* e *Philodendron* (figura 1).

Gauthier *et al.* (2008), através da análise dos marcadores ITS e ETS, sugeriram que o grupo irmão do gênero *Philodendron* seriam as homalomenas americanas, enquanto as homalomenas asiáticas seriam grupo irmão de ambos. Os três subgêneros também foram recuperados como monofiléticos e *Homalomena* também foi recuperado como parafilético. A figura 2 indica as relações evolutivas sugeridas pelos referidos autores.

Essa topologia foi proposta através da reconstrução filogenética por máxima parcimônia. Contudo, a análise dos dados utilizando análise Bayesiana gerou uma topologia diferente, com o subgênero *Pteromischum* como grupo irmão das *Homalomena* americanas com elevada probabilidade posterior. Assim, o gênero *Philodendron* seria parafilético (Figura 3), resultado também encontrado por Barabé *et al.* (2002) ao estudar a evolução das aráceas através do íntron *trnL*.

Além disso, a análise de caracteres morfológicos, sobretudo florais, realizada também por Gauthier *et al.* (2008) no artigo em questão não suporta claramente o monofilismo dos subgêneros *Philodendron* e *Mecanostigma*, resultado esse convergente com o que foi observado nas filogenias dos marcadores de cloroplasto dessa tese. Dado o panorama das publicações que abordaram a evolução de *Philodendron* com base em caracteres morfológicos e moleculares, bem como os resultados obtidos pelas análises realizadas nesse trabalho é possível perceber que as hipóteses sobre a filogenia do gênero ainda são pouco conclusivas. No entanto, ainda que as relações evolutivas e monofilismo dos grupos não apresentem convergência, ao considerarmos os domínios fitogeográficos de ocorrência das espécies pudemos encontrar padrões bastante interessantes. Nos clados em que ocorrem espécies da Mata Atlântica e do cerrado, geralmente essas se apresentam como mais derivadas, enquanto na base desses clados com frequência são encontradas espécies amazônicas. Isso acontece ainda que não tais espécies não sejam exclusivas dos referidos domínios.

Tal padrão pode ser percebido tanto na árvore gerada através da análise de ETS, que mostrou a melhor resolução dentre os estudados nesse trabalho, quanto nas demais. Isso pode constituir um indício de origem amazônica dessas espécies de *Philodendron* com a posterior ocupação dos ambientes da Mata Atlântica e do cerrado. Nesse caso, tais eventos de colonização podem ter acontecido diversas vezes, já que o referido padrão acontece em diversos clados das filogenias. Se, ao contrário do que está sendo observado, os *Philodendron* tivessem se originado na Amazônia e colonizado os demais domínios fitogeográficos somente uma vez, seria esperado encontrar as espécies amazônicas agrupadas na base da topologia, com as de Mata Atlântica e cerrado se apresentando como mais derivadas. Tenório *et al.* (2012) analisaram a anatomia dos feixes vasculares de xilema e floema e a partir dos padrões encontrados propuseram a hipótese de múltiplas colonizações da Mata Atlântica e cerrado a partir da Floresta Amazônica, e posteriormente colonização recíproca entre esses dois primeiros ambientes. Essa foi a primeira vez que isso foi observado na família Araceae e tal evidência converge para o que está sendo observado através das filogenias desse trabalho.

No entanto, é necessária uma análise mais robusta dos dados, bem como a obtenção de novas sequências das espécies de *Philodendron* que ocorrem no Brasil para elucidar o panorama de colonização dos ambientes. O mesmo é válido para a elucidação das relações filogenéticas entre as espécies e subgêneros de *Philodendron*.

### *Estudos micromoleculares: um estudo de caso*


*Philodendron corcovadense* Kunth é endêmica da Floresta Atlântica, com distribuição ao longo de restingas e matas de encosta entre o Rio de Janeiro e Santa Catarina e é conhecida em apenas



**Figura 2.** Relações evolutivas entre os subgêneros de *Philodendron* obtidas pelo método de máxima parcimônia (Gauthier *et al.* 2008).



**Figura 3.** Relações evolutivas entre os subgêneros de *Philodendron* obtidas por análise Bayesiana (Gauthier *et al.* 2008).



duas localidades fora desta distribuição: na região serrana do Espírito Santo e em um brejo de altitude em Pernambuco. Anteriormente a este trabalho, sua ocorrência era também apontada para as matas úmidas do sul da Bahia. É frequentemente encontrada em ambientes de luminosidade mais intensa, como moitas de restinga, matacões, margens de rios e sobre o dossel de árvores altas em matas fechadas, apresentando hábito terrestre, rupícola ou hemiepifítico, este último o mais comum. De acordo com os critérios da IUCN, o status de conservação global de *P. corcovadense* aponta para uma espécie não ameaçada (LC) (Sakuragui *et al.* 2012). Entretanto, com o estudo da mesma em campo, principalmente no estado do Rio de Janeiro, os autores a consideram localmente ameaçada devido a sua maior ocorrência em restingas, formações altamente ameaçadas e impactadas na região sudeste brasileira. Baseando-se em modelos paleoclimáticos, Carnaval & Moritz (2008) identificaram a presença de um refúgio pleistocênico extenso e central na Floresta Atlântica (refúgio Bahia) e outro menor ao norte (refúgio Pernambuco). Para validar os refúgios hipotéticos e o poder preditivo do modelo, os autores compararam seus resultados à distribuição atual da Floresta Atlântica e combinaram dados do registro palinológico fóssil, de filogeografia e padrões de endemismo, e encontraram grande congruência entre os resultados, além de alta diversidade genética nas regiões apontadas. Os objetivos do trabalho incluíram: a análise da variabilidade genética, morfológica e a estruturação populacional de *Philodendron corcovadense* ao longo de toda a distribuição da espécie, além de testar a hipótese dos refúgios de Carnaval & Moritz (2008).

O padrão de diversidade genética encontrado diferiu em alguns pontos do modelo dos refúgios florestais, uma vez que, para *P. corcovadense*, as quatro zonas poderiam ser entendidas como áreas estáveis e relictuais, mas apresentam diversidade genética de moderada a baixa. Segundo o modelo, as áreas historicamente estáveis (refúgios) são localizadas ao norte, em Pernambuco, e na região central da Floresta Atlântica, entre o norte do Espírito Santo e o sul da Bahia, e seriam caracterizadas por maiores índices de diversidade genética (Carnaval & Moritz 2008).

Apesar das regiões não apresentarem índices de diversidade genética altos, consideramos que as quatro zonas apontadas foram de fundamental importância na manutenção da espécie durante períodos de retração das áreas florestais. A baixa diversidade em cada zona pode ser explicada pelo tamanho populacional efetivo reduzido durante longos períodos e pelo grande isolamento espacial entre as mesmas, bem como pelos mecanismos de polinização e dispersão de alcance limitados. A população de Pernambuco mostrou-se claramente distinta das demais, o que provavelmente é reflexo de seu isolamento geográfico nos brejos de altitude. Neste trabalho, os dados obtidos revelam uma realidade distinta daquela sugerida pela extensão de ocorrência da espécie, que foi o único critério disponível na sua classificação em categorias da IUCN por Sakuragui *et al.* (2012). Apesar de aparentemente ampla, a distribuição de *P. corcovadense* não é contínua entre os extremos conhecidos (Pernambuco e Santa Catarina) e apresenta-se melhor compreendida como quatro zonas geográfica e geneticamente isoladas, conforme anteriormente exposto. O elevado grau de estruturação observado entre as populações destas quatro zonas e a diversidade genética exclusiva de cada uma delas sugerem fortemente que sejam consideradas separadamente para fins de conservação. Todas enquadram-se no conceito de “unidades evolutivamente significativas” (ESU – *Evolutionary Significant Units*) (Moritz 1994), segundo o qual as unidades são reconhecidas pelo monofiletismo recíproco com dados de DNA de herança uniparental (neste caso o cpDNA) e apresentam divergência significativa com dados de DNA nuclear, representando populações historicamente separadas. O reconhecimento das ESUs, conforme ressalta Moritz (1994), é importante na orientação de esforços de manejo a longo prazo, pois permite determinar populações de conservação prioritária segundo critérios evolutivos. Para *P. corcovadense*, as zonas do Rio de Janeiro e do sul do Brasil apresentam populações mais espaçadas ao longo da distribuição e podemos apontar como prioritárias para a conservação da espécie as que se encontram nas seguintes áreas de importância extremamente alta (nomes de acordo com MMA 2000): Remanescentes Florestais da Região dos Lagos (RJ), Maciços Litorâneos do Município

do Rio de Janeiro (RJ), Maciços da Serra do Mar entre Sepetiba e Parati (RJ), Serra do Paranapiacaba (SP), Nordeste de Santa Catarina e Litoral Sul do Paraná (PR, SC) e Vale do Itajaí (SC). Já no Espírito Santo e em Pernambuco, os únicos registros localizam-se nas áreas Santa Teresa (ES) e Brejo de Taquaritinga (PE), ambas de prioridade extremamente alta.

## Referências

- Barabé, D.; Bruneau, A.; Forest, F. & Lacroix C. 2002. Correlation between development of atypical bisexual flowers and phylogeny in the Aroideae (Araceae). **Plant Systematics and Evolution** **232**: 1–19.
- Cabrera, L.I.; Salazar, G.A.; Chase, M.W.; Mayo, S.J.; Bogner, J. & Dávila, P. 2008. Phylogenetic relationships of aroids and duckweeds (Araceae) inferred from coding and noncoding plastid DNA. **American Journal of Botany** **95**(9): 1153–1165.
- Cansação, I.F. 2008. “Relacionamento genético de espécies do gênero *Philodendron* (Araceae, Monocotyledoneae) através do marcador DAF (DNA Amplification Fingerprinting)”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 77p.
- Carnaval, A.C. & Moritz, C. 2008. Historical climate modeling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Biogeography** **35**: 1187–1201.
- Coelho, M.A.N. 2000. *Philodendron* Schott (Araceae): morfologia e taxonomia das espécies da Reserva Ecológica de Macaé de Cima Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia** **51**(78/79): 21–68.
- Croat, T.B. 1997. A revision of *Philodendron* subgenus *Philodendron* (Araceae) for Mexico and Central America. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **84**(3): 311–704.
- Croat, T.B.; Mayo, S.J. & Boos, J. 2002. A new species of Brazilian *Philodendron* subgenus *Meconostigma* (Araceae). **Aroideana** **25**: 63–66.
- Cusimano, N.; Bogner, J.; Mayo, S.J.; Boyce, P.C.; Wong, S.Y.; Hesse, M.; Hettterscheid, W.L.A.; Keating, R.C. & French, J.C. 2011. Relationships within the Araceae: comparison of morphological patterns with molecular phylogenies. **American Journal of Botany** **98**(4): 1–15.
- Degnan, J.H. & Rosenberg, N.A., 2009. Gene tree discordance, phylogenetic inference and the multispecies coalescent. **Trends in Ecology and Evolution** **24**: 332–340.
- Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies an approach using the bootstrap. **Evolution** **39**(4): 783–791.
- French, J. C. 1985. “Patterns of endothelial wall thickenings in Araceae: subfamilies Calloideae, Lasioideae and Philodendroideae”. **Botanical Gazette (Chicago)** **146**: 521–533.
- Gauthier, M.P.L.; Barabé, D. & Bruneau, A. 2008. Molecular phylogeny of the genus *Philodendron* (Araceae): delimitation and infrageneric classification. **Botanical Journal of the Linnean Society** **156**(1): 13–27.
- Gonçalves, E. G. & Salviani, E. R. 2002. New species and changing concepts of *Philodendron* subgenus *Meconostigma* (Araceae). **Aroideana** **25**:2–16.
- Gonçalves, E.G.; Mayo, S.J.; Van Sluys, M.A. & Salatino, A. 2007. Combined genotypic-phenotypic phylogeny of the tribe Spathicarpeae (Araceae) with reference to independent events of invasion to Andean regions. **Molecular Phylogenetics and Evolution** **43**: 1023–1039.
- Heled, J. & Drummond, A.J. 2010. Bayesian Inference of Species Trees from Multilocus Data. **Molecular Biology and Evolution** **27**: 570–580.
- Knowles, L.L.; Kubatko, L. S. (Eds.), 2010. **Estimating Species Trees: Practical and Theoretical Aspects**. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ.
- Mayo, S.J. (1986). **Systematics of *Philodendron* Schott (Araceae) with special reference to inflorescence characters**. Tese de Doutorado. University of Reading, Reading. 972p.
- Mayo, S.J. 1988. Aspectos da evolução e da geografia do gênero *Philodendron* Schott (Araceae). **Acta Botanica Brasilica** **1**(2): 27–40.

- Mayo, S.J. 1989. Observations of gynoecial structure in *Philodendron* (Araceae). **Botanical Journal of the Linnean Society** **100**(2): 139-172.
- Mayo, S.J.; Bogner, J. & Boyce, P.C. 1997. **The Genera of Araceae**. London. Royal Botanic Garden.
- Mayo, S.J. 1991. A revision of *Philodendron* subgenus *Meconostigma*. **Kew Bulletin** **46**(4): 601-681.
- Moritz, C. 1994. Defining evolutionary-significant-units for conservation. **Trends in Ecology, Evolution** **9**: 373-375.
- Nei, M. & Kumar. S. 2000. **Molecular Evolution and Phylogenetics**. New York: Oxford University Press.
- QIAGEN. 2006. **QIAquick Spin Handbook for QIAquick Gel Extraction Kit**. 39p.
- Renner, S. S. & Zhang, L.-B. 2004. Biogeography of the *Pistia* clade (Araceae): Based on chloroplast and mitochondrial DNA sequences and Bayesian divergence time inference. **Systematic Biology** **53**: 422-432.
- Renner, S.S.; Zhang, L.-B. & Murata, J. 2004. A chloroplast phylogeny of *Arisaema* (Araceae) illustrates tertiary floristic links between Asia, North America and East Africa. **American Journal of Botany** **91**: 881-888.
- Rothwell, G.W.; van Atta, M.R.; H. Ballard Jr, W., & Stockey, R.A. 2004. Molecular phylogenetic relationships among Lemnaceae and Araceae using the chloroplast *trnL-trnF* spacer. **Molecular Phylogenetics and Evolution** **30**: 378-385.
- Sakuragui, C.M. & Soares, M.L. 2010. *Philodendron In: Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB005015>>. Acesso em 20 de Fevereiro de 2012.
- Sakuragui, C.M.; Calazans, L.S.B.; Morais, E.B.; Coelho, M.A.N. & Pellegrini, M.O.O. 2012. Diversity and conservation of *Philodendron* Schott (Araceae) in Atlantic Forest of Rio de Janeiro State, Brazil. **Feddes Repertorium** **122**(7-8): 472-496.
- Schott, H.W. 1829. "Fiir Liebhaber der Botanik". **Wiener Zeitschr. Kunst, Literatur, Theater und Mode**\_(3rd Quarter) **94**: 779-780.
- Tam, S.; Boyce, P.; Upson, T.; Barabé, D.; Bruneau, A.; Forest, F. & Parker, J. 2004. Intergeneric and infrafamilial phylogeny of subfamily Monsteroideae (Araceae) revealed by chloroplast *trnL-F* sequences. **American Journal of Botany** **91**: 490-498.
- Thompson, J. D.; Higgins, D. G. & Gibson, T.J. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. **Nucleic acids research** **22**(22): 4673-80.
- Wong, S.Y.; Boyce, P.C.; Othman, A.S. & Leaw, C.P. 2010. Molecular phylogeny of tribe Schismatoglottideae (Araceae) based on two plastid markers and recognition of a new tribe, Philonotieae, from the Neotropics. **Taxon** **59**: 117-124.



# MORPHOMETRICS IN THE ARACEAE: PAST AND PRESENT

**Simon J. Mayo<sup>1</sup>, Ivanilza M. Andrade<sup>2</sup>, M. Francilene S. Silva<sup>2</sup>,  
Tiago A. Pontes<sup>3</sup>, M.L.C. Soares<sup>4</sup>, Livia G. Temponi<sup>5</sup> e Ana Paula Cardozo<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Herbarium, Royal Botanic Gardens, Kew, UK.

[simonjosephmayo@hotmail.co.uk](mailto:simonjosephmayo@hotmail.co.uk)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Piauí, Parnaíba, PI, Brazil.

<sup>3</sup>Universidade Estadual de Feira de Santana, BA, Brazil.

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Pesquisas de Amazônia, AM, Brazil.


<sup>5</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná, PR, Brazil.

<sup>6</sup>Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brazil.

## Introduction

Morphometrics – the quantitative study of morphology – is a subject which has begun to attract more attention in recent years as a result of methodological developments in the 1990s which led to the so-called “revolution” of geometric morphometrics (GM, Rohlf & Marcus 1993). GM focuses on configurations of landmarks – points on the studied organisms, or parts of organisms – which are regarded as homologous to a greater or lesser extent, and is strictly focused on the analysis of shape changes, excluding morphological differences due primarily to size differences. The development of GM was based on new insights and advances of which the most important were a new definition of shape and the introduction of the thin-plate spline (TPS). The TPS is an interpolating method that made possible a satisfactory geometric and statistical model for D’Arcy Thompson’s famous transformation diagrams (Thompson 1942). From a practical point of view, GM made it possible not only to study statistically the geometric transformation of shapes (represented by landmark configurations) as a whole but also to easily reproduce them as results of analysis. This permitted an intuitive and much more satisfying understanding of morphological shape changes and transformations, be these phylogenetic, morphogenetic or simply more-or-less random variation. One other advantage of GM is that since it effectively isolates shape change from size variation, more satisfactory analyses of allometric phenomena – size change correlated with shape change – become possible.

Although sometimes not considered to be strictly part of the GM arsenal of techniques (e.g. Zelditch *et al.* 2012), outline analysis is important in modern morphometrics because it answers the need to model and compare organic structures which lack homologous landmarks. The most important of the outline techniques are eigenshape analysis and elliptic Fourier analysis (EFA). In eigenshape analysis, each shape (e.g. leaf outline) is captured by digitization of a fixed number of equally spaced points (e.g. a set of 100 points), and then a function called the tangent angle is calculated which transforms the point set of each outline into a vector of tangent angle values. The matrix thus produced is subjected to eigenanalysis, producing a set of independent eigenshape axes (equivalent to the eigenvectors of a PCA) which describe the shape variation of the objects. EFA also begins with a



set of points digitized along an outline and uses the successive increments of the x and y coordinate values around the outline as the raw material for a Fourier analysis. The Fourier analysis generates, for each outline, a vector of coefficients which together constitute its mathematical description. The set of such vectors is the matrix which is then subjected to multivariate analysis. Neither of these approaches requires homologous points on the outline, although they do require standardization of the starting point of the sequence of points. The digitized points essentially serve only to generate a set of data from which functions are produced which can then create a smooth interpolation of the outline as a reconstruction. The most important features outline methods have in common with landmark methods is the ability to reconstruct shapes after multivariate analysis – e.g. mean shapes of species and populations or the shape trends corresponding to principal components and canonical variates (Hammer & Harper 2006).

Prior to GM, morphometrics consisted of the multivariate analysis of sets of measurements, usually linear, but also including angles and ratios of linear measurements. The statistical approach treats these variables *a priori* as independent, when in reality they are often highly correlated when resulting from common growth processes – e.g. variation in leaf length and leaf width. Furthermore, mathematical summaries such as mean vectors and eigenvectors of these sets of variables are difficult to visualize and interpret. This “traditional” mode of morphometric analysis nevertheless remains an important tool, especially for taxonomist, for whom both shape and size differences are important (Marcus 1990).

“Traditional” morphometrics has been widely applied in botany and many of these applications have been to taxonomic problems, but right from its beginnings in the 1930s, it was also used to investigate quantitative changes in form (morphology) in relation to size – the topic of allometry (e.g. Teissier 1938; Gould 1966) – important from both ontogenetic and phylogenetic points of view. Blackith’s studies of within-species transitions in locust morphology (i.e. transformation from normal to plague phases, Blackith 1965) are an early example of an application which is ecological rather than taxonomic.

For taxonomists, morphometrics does not provide a comprehensive solution to the difficult problem of “operationalizing” the delimitation of species taxa, i.e. using algorithmic analysis to analyse the full range of phenotypic data typically used in classical taxonomic species delimitation. While morphometrics deals only with continuous quantitative (interval) variables, classical phenetics (“numerical taxonomy”) and cladistics deal primarily with discrete and binary variables, or require the discretization of continuous variables. This is surely one of the reasons why the intuitive and largely subjective methods of classical taxonomy still predominate in phenotypic species delimitation, since the human brain is still unmatched in its ability to discretize taxonomic groups (particularly species taxa) from the complex, variable and correlated patterns of data presented by the morphological variation of living organisms.

GM is nevertheless limited in the extent of the comparisons it can undertake. By the nature of its statistical and topological foundations, comparisons of landmark configurations can only validly be made using the usual linear algebraic approaches within a fairly narrow range of shape variation. Beyond this, the assumption of linearity breaks down and the methodology becomes less consistent. This has important implications for taxonomists, who may wish to compare very wide ranges of variation within a single genus, e.g. leaf shape in *Philodendron*. There is clearly a need for further advances in methodology for applying morphometrics (in the most general sense of form measurement) to the primary taxonomic problem of species delimitation.

## The Araceae: studies to date

In the Araceae, modern morphometric studies began with the ground-breaking studies of Tom Ray (1990a, 1990b, 1992), who extended the eigenshape outline method to study the leaf shape of *Syngonium podophyllum* Schott. One of Ray's key insights, which has still not been sufficiently followed up in Araceae, was the importance of "second order leaf shape ontogeny". This term embodies the quantitative changes, including rates of change (metamorphosis), of leaf shape during the ontogenetic series represented by a typical shoot. In hemi-epiphytes like *Syngonium*, *Monstera* and *Philodendron* these can be sequences of many leaves and may involve the growth of a single shoot through more than one distinct ecological microhabitat (Ray 1983; Andrade & Mayo 1998, 2000). Ray's work was the beginning of a quantitative approach to shoot architecture in aroid hemi-epiphytes.

It was fourteen years after Ray's work before new morphometric studies were undertaken in Araceae and these by contrast focused on taxonomic and biogeographic problems at species and population levels. Fonsêca (2006) studied leaf outline variation in four species of *Spathicarpa* using EFA. This was followed soon after by the papers of Andrade *et al.* (2008, 2010a, 2010b) on populations of *Monstera* and *Anthurium* species from Northeast Brazil; these latter authors compared EFA morphometric patterns with AFLP genetic patterns, following analogous approaches using "traditional" morphometrics and allozymes in other plant groups (e.g. Borba *et al.* 2002; Lambert *et al.* 2006a, 2006b; Pereira *et al.* 2007). The primary aim of these studies was the biogeographic comparison of population variation within species across a subcontinental region, but they also revealed unexpected patterns of inter-population diversity. More recent studies have also compared multiple populations but with a greater focus on the analysis of species delimitation and this is likely to continue as a recurrent theme in morphometric studies, particularly when combined with a parallel study of molecular markers from the same populations. Soares *et al.* (2011) investigated the utility of EFA morphometric markers for identifying species of *Heteropsis* in central Amazonia using leaf outlines and showed this could be a promising line of future investigation in an economically important genus in which species identification is notoriously difficult. Cardozo *et al.* (submitted) used EFA to investigate the species delimitations of a group of cordate-leaved species in the Atlantic Forest of southeastern Brazil.

Two recent studies have been carried out on the genus *Montrichardia*. Silva *et al.* (2012) carried out a comparative study of seven populations in Piauí, Brazil of *M. linifera* using landmarks and semilandmarks of the leaves, finding a wide variation in leaf shape which confounded in part the interspecies distinctions between *M. linifera* and *M. arborescens*. A study published shortly afterwards (Mirouze *et al.* 2012), carried out in French Guiana, where both species occur sympatrically, took a similar approach and studied eleven populations (six of *M. arborescens* and five of *M. linifera*), but used EFA for the morphometric analysis of leaf shape. Their study demonstrated wide variation between populations of the same species but confirmed the species distinctions in particular localities.

Mayo & Andrade (2014) used "traditional" morphometrics to diagnose quantitatively the differences between two species of *Monstera* in the Atlantic Forest of Bahia state, Brazil, based on the study of herbarium specimens. This study showed that while such material suffers from many limitations, a quantitative approach can provide new information and offers the possibility of creating a more permanent online database for future use.

Pontes (in preparation) is currently undertaking a combined "traditional" and GM morphometric and genetic study of endemic species of *Anthurium* in Bahia. This study also aims to make use of the internet for electronic data publication with a view to enhancing the usefulness of the study data and conclusions.

## Future perspectives

From a taxonomic standpoint, the morphometrics approach highlights some interesting areas for future investigation. Population-level studies demonstrate new levels of complexity in patterns of variation, both in morphological characters and in genetic markers. This new information requires re-thinking of species delimitations, but also can make them more difficult, or perhaps more arbitrary, to draw. Genetic information obtained from modern molecular analysis is highly influential, particularly in assessing the relative importance of populations and their variation. Genetic variation patterns also lend themselves more easily to evolutionary interpretation than morphological ones, because of the powerful apparatus of population genetics theory. Nevertheless, morphology continues to play a key role in the delimitation of species and this is unlikely to change – most species are already defined on morphological data and most will probably remain so, and morphology retains a major genetic component despite its plasticity in the face of environmental challenges. Above all, species taxon concepts (Mayo *et al.* 2008) are tools which require a basis in phenotypic information as well as genetic and this means, in the long run, a more organized database to support and justify the current taxon concepts. There is thus good reason to build up more comprehensive repositories for the data used to delimit species and to make more transparent the methods by which taxonomists arrive at their circumscriptions. More research is needed, including development of new methods of analysis, which can make it easier to draw optimal boundaries around groups of populations and which can present the data in forms which are designed to facilitate update, re-analysis and access by other scientists who need rich, high quality phenotypic and geographical information indexed by species taxon concepts.

Another interesting area for future research is the “quantification” of characters which are traditionally viewed as discrete, or qualitative. The advent of outline analysis methods has made it possible to quantify at least a part of the range of leaf shape variation which classical taxonomy has handled for centuries with a rich variety of qualitative descriptive terms (Linnaeus 2003). Other strictly morphological character fields could be similarly transformed, e.g. textures, pubescence, venation patterns, etc. Beyond this there are many characters which currently do not play much part in species descriptions but which are of ecological interest, the so-called ecological traits, e.g. leaf area, number of ovules per ovary, number of seeds per fruit, etc. (e.g. Chouteau *et al.* 2006; Maia *et al.* 2012).

Finally, there is still a vast amount of investigation to be carried out on the morphology of species, involving their architecture and growth patterns, juvenile forms and vegetative reproduction, most of which lies beyond the scope both of classical species description and their reduction to useful variables capable of allowing quantitative comparisons. At least some of this information will be of taxonomic importance.

## References

- Andrade, I.M. & Mayo, S.J. 1998. Dynamic shoot morphology in *Monstera adansonii* Schott var. *klotzschiana* (Schott) Madison (Araceae). **Kew Bulletin** **53**: 399-417.
- Andrade, I.M. & Mayo, S.J. 2000. Dynamic shoot morphology in root-climbing Araceae: *Philodendron rudgianum* Schott and *Ph. fragrantissimum* (Hook.) G. Don. **Feddes Repertorium** **111**: 295-314.
- Andrade, I.M.; Mayo, S.J.; Kirkup, D. & Van den Berg, C. 2008. Comparative morphology of populations of *Monstera* Schott (Araceae) from natural forest fragments in Northeast Brazil using elliptic Fourier Analysis of leaf outlines. **Kew Bulletin** **63**: 193 – 211.
- Andrade, I.M.; Mayo, S.J.; Kirkup, D. & Van den Berg, C. 2010. Elliptic Fourier Analysis of leaf shape in *Anthurium sinuatum* Benth. ex Schott and *A. pentaphyllum* (Aubl.) G. Don (Araceae) in forest fragment populations from Northeast Brazil. **Kew Bulletin** **65**: 3 – 20.

- Andrade, I.M. & Mayo, S.J. 2010. Molecular and morphometric patterns in Araceae from fragmented Northeast Brazilian forests. Pp. 115 – 128. In: Seberg, O., Petersen G., Barfod, A.S. & Davis, J.R. (Eds.). **Diversity, phylogeny and evolution in the Monocotyledons**. Aarhus, Aarhus University Press.
- Blackith, R.E. 1965. Morphometrics. Pp. 225-249. In Waterman, T.H. & Morowitz, H.J. (Eds.). **Theoretical and mathematical biology**. New York, Blaisdell Publishing Company.
- Borba E.L.; Shepherd G.J.; van den Berg C. & Semir J. 2002. Floral and vegetative morphometrics of five *Pleurothallis* (Orchidaceae) species: correlation with taxonomy, phylogeny, genetic variability and pollination systems. **Annals of Botany** **90**: 219–230.
- Cardozo, A.P.; Temponi, L.G.; Andrade, I.M.; Mayo, S.J. & Smidt, E.C. Submitted. Geometric morphometrics in the *Anthurium augustinum* complex (Araceae). **Feddes Repertorium**.
- Chouteau, M.; Barabé, D. & Gibernau, M. 2006. Pollen-ovule ratios in some Neotropical Araceae and their putative significance. **Plant Systematics and Evolution** **257**: 147-157.
- Fonsêca, L.C.M. 2006. **Descrição da Arquitetura Foliar e Análise Morfométrica das Folhas de *Spathicarpa Hook.*** (Araceae) 45 f. Dissertation, Universidade de Brasília, Brasília.
- Gould, S.J. 1966. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. **Biological Reviews** **41**: 587-640.
- Hammer, Ø. & Harper, D.A.T. 2006. **Paleontological Data Analysis**. Malden: Blackwell Publishing.
- Lambert, S.M.; Borba, E.L. & Machado M.C. 2006a. Allozyme diversity and morphometrics of the endangered *Melocactus glaucescens* (Cactaceae), and investigation of the putative hybrid origin of *M. albicephalus* (*M. ernestii*, *M. glaucescens*) in north-eastern Brazil. **Plant Species Biology** **21**: 93-108.
- Lambert S.M.; Borba E.L.; Machado M.C. & Andrade S.C.S. 2006b. Allozyme diversity and morphometrics of *Melocactus paucispinus* (Cactaceae) and evidence for hybridization with *M. concinnus* in the Chapada Diamantina, north-eastern Brazil. **Annals of Botany** **97**: 389-403.
- Linnaeus, C. 2003. **Philosophia Botanica**. Translated by Stephen Freer. Oxford: Oxford University Press.
- Maia, A.C.D.; Gibernau, M.; Carvalho, A.T.; Gonçalves, E.G. & Schindwein, C. 2013. The cowl does not make the monk: scarab beetle pollination of the Neotropical aroid *Taccarum ulei* (Araceae: Spathicarpeae). **Biological Journal of the Linnean Society** **108**: 22-34.
- Marcus, L. 1990. Traditional morphometrics. Pp.77-122. In: Rohlf, F.J. & Bookstein, F.L. (Eds.). **Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop**. Ann Arbor, The University of Michigan Museum of Zoology.
- Mayo, S.J.; Allkin, R.; Baker, W. *et al.* 2008. Alpha e-taxonomy: responses from the systematics community to the biodiversity crisis. **Kew Bulletin** **63**: 1-16.
- Mayo, S.J. & Andrade, I.M. 2014. A preliminary morphometric and taxonomic study of *Monstera* (Araceae) in Bahia, Brazil. **Feddes Repertorium** **124**: 1-24.
- Mirouze, E.; Staquet, A. & Vezy, R. 2012. Morphometric and morphological analyses of leaves in two species of Araceae: *Montrichardia linifera* and *Montrichardia arborescens* among different French Guiana populations. **Journal of Ecofog** **3**: 1-15.
- Pereira, A.C.S.; Borba, E.L. & Giulietti, A.M. 2007. Genetic and morphological variability of the endangered *Syngonanthus mucugensis* Giul. (Eriocaulaceae) from the Chapada Diamantina, Brazil: implications for conservation and taxonomy. **Botanical Journal of the Linnean Society** **153**: 401-416.
- Ray, T.S. 1983. *Monstera tenuis*. Pp. 278-280. In: Janzen, D.H. (ed.), **Costa Rican Natural History**. Chicago, University of Chicago.
- Ray, T.S. 1990a. Application of eigenshape analysis to second order leaf shape ontogeny in *Syngonium podophyllum* (Araceae). Pp. 201-213. In: Rohlf, F.J. & Bookstein, F.L. (Eds.), **Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop**. Ann Arbor, The University of Michigan Museum of Zoology.
- Ray, T.S. 1990b. Metamorphosis in the Araceae. **American Journal of Botany** **77**: 1599-1609.
- Ray, T.S. 1992. Landmark eigenshape analysis: homologous contours: Leaf shape in *Syngonium* (Araceae). **American Journal of Botany** **79**: 69-76.
- Rohlf, F.J. & Marcus, L.F. 1993. A revolution in morphometrics. **Trends in Ecology and Evolution** **8**: 129-132.



- Silva, M.F.S.; Andrade, I.M. & Mayo, S.J. 2012. Geometric morphometrics of leaf blade shape in *Montrichardia linifera* (Araceae) populations from the Rio Parnaíba Delta, north-east Brazil. **Botanical Journal of the Linnean Society** **170**: 554-572.
- Soares, M.L.C.; Mayo, S.J.; Gribel, R. & Kirkup, D. 2011. Elliptic Fourier analysis of leaf outlines in five species of *Heteropsis* (Araceae) from the Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brazil. **Kew Bulletin** **66**: 463-470.
- Teissier, G. 1938. Un essai d'analyse factorielle. Les variants sexuels de *Maia squinada* **Biotypologie** **7**: 73-96.
- Thompson, D.W. 1942. **On growth and form: a new edition**. Cambridge, Cambridge University Press.
- Zelditch, M.L.; Swiderski, D. & Sheets, H.D. 2012. **Geometric morphometrics for biologists: a primer**. Second edition. Amsterdam, Elsevier.

# A ANATOMIA E ONTOGENIA DOS ÓRGÃOS REPRODUTIVOS NA CARACTERIZAÇÃO DE *ANTHURIUM* (ARACEAE, ALISMATALES)

**Alessandra Ike Coan<sup>1</sup>, Livia Godinho Temponi<sup>2</sup> e Letícia Peres Poli<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal), Rio Claro, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós Graduação em Conservação e Manejo de Recursos Naturais, Cascavel, Brasil.

Araceae é reconhecida pela inflorescência composta por uma bráctea denominada espata e um espádice (Grayum 1990). A família está presente em todo território nacional, com 36 gêneros e cerca de 480 espécies (Coelho *et al.* 2014b). *Anthurium* Schott, um dos maiores gêneros da família, reúne espécies com espata persistente e um espádice contendo flores bissexuais com quatro tépalas, quatro estames livres e ovário bilocular com um a três óvulos por lóculo, dispostos em placentação axial-apical ou axial (Mayo *et al.* 1997; Temponi *et al.* 2005). O gênero apresenta distribuição neotropical com aproximadamente 860 espécies (The Plant List 2013), sendo representado no Brasil por cerca de 130 espécies (Coelho *et al.* 2014a).

Estudos envolvendo análise filogenética (Temponi 2006, Carlsen & Croat 2013; Croat & Carlsen 2013), tipificação, taxonomia, morfologia e biogeografia (Coelho & Mayo 2007; Coelho *et al.* 2009) vêm sendo realizados com representantes de *Anthurium*, porém as categorias infragenéricas permanecem pouco resolvidas. A classificação infragenérica do gênero compreende de 16 a 19 seções (e.g. Engler 1878; Croat & Sheffer 1983; Croat 1991; Carlsen & Croat 2013; Coelho *et al.* 2009), circunscritas principalmente com base em caracteres morfológicos foliares.

No contexto de elucidação das relações entre as espécies de *Anthurium* podem-se citar estudos baseados principalmente em caracteres anatômicos dos órgãos vegetativos (Mantovani & Pereira 2005; Mantovani *et al.* 2010). Apesar de estudos prévios com outras Araceae apontarem caracteres anatômicos florais como importantes na separação de categorias infragenéricas (e.g. Mayo 1989), estudos do desenvolvimento floral e de anatomia de órgãos reprodutivos são incipientes em *Anthurium*, com maior parte das descrições dos caracteres baseada em observações de material herborizado sob estereomicroscópio.

Em *Anthurium*, estudos de anatomia floral (Carvajal 1977; Higaki *et al.* 1984), vascularização floral (Barabé *et al.* 1984), embriologia (Grayum 1991), aspectos estruturais do gineceu maduro (French 1987; Matsumoto *et al.* 1998) foram realizados com algumas espécies. Apenas um único estudo recente aborda a ontogenia da inflorescência no gênero (Barabé & Lacroix 2008), reportando a presença de cristais de oxalato de cálcio nas tépalas, estames e gineceu, enfatizando a necessidade de investigações com outras espécies, inclusive de gêneros correlatos em Pothoideae.

Mais recentemente, Poli *et al.* (2012) estudaram a anatomia do gineceu maduro de 11 espécies de *Anthurium* das seções *Cardiolonchium* Schott, *Dactylophyllium* Schott e *Urospadix* Schott. De um modo geral, o gineceu maduro das espécies estudadas apresentou caracteres anatômicos uniformes, tanto quando comparadas espécies da mesma seção como entre seções distintas. Inédito para

o gênero foi a confirmação da ocorrência de tricomas placentários secretores de mucilagem, que preenchem totalmente o lóculo do ovário. A observação de caracteres variáveis entre as categorias analisadas reforçaram a importância de estudos comparativos com mais espécies de outras seções.

Tendo em vista que a compreensão de um órgão floral envolve o correto entendimento da sua ontogenia e da sua estrutura madura, desenvolvida, culminando, por fim, na observação de como ocorre a vascularização em si (Henslow 1890; Endress *et al.* 1983; Buzgo & Endress 2000; Endress & Igersheim 2000), estudos ontogenéticos do gineceu foram também realizados com alguns representantes de *Anthurium* procurando auxiliar na compreensão da formação do carpelo no gênero e em Pothoideae (Poli 2013).

Na maioria das espécies estudadas, independente da classificação infragenérica, o desenvolvimento do gineceu também se mostrou uniforme, podendo-se evidenciar quatro fases de desenvolvimento baseadas no arranjo das tépalas nas flores (Poli *et al.* submetido). Essas fases são marcantes nas espécies estudadas e podem subsidiar estudos de anatomia e biologia floral no gênero. A presença de septo apical é indicada por Poli *et al.* (submetido) como um caráter inédito em uma espécie de *Anthurium* sect. *Tetraspermium*, sendo esse caráter provavelmente relacionado ao tamanho do gineceu e à acomodação dos quatro óvulos nos lóculos.

Complementar à ontogenia do gineceu, o estudo da vascularização floral com ênfase no gineceu (Poli 2013; Poli *et al.* submetido) evidenciou novamente variação nos estados de caracteres. Nas espécies estudadas, os carpelos podem ser vascularizados apenas pelos feixes ventrais ou por estes mais os feixes dorsais dos carpelos. A associação de observações em microscopia de luz e confocal de varredura a laser foi importante para confirmar a posição dos feixes vasculares, que são bastante reduzidos nas espécies estudadas.

Os resultados anatômicos aqui apresentados para os órgãos reprodutivos de alguns representantes de *Anthurium* reforçam a sua importância para o conhecimento das categorias infragenéricas. Estudos ampliando o número de espécies de *Anthurium* e incluindo gêneros correlatos em Pothoideae são necessários para a melhor compreensão da evolução dos caracteres florais na subfamília, assim como para Araceae como um todo, importante representante das Alismatales dentre as monocotiledôneas.

## Agradecimentos

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo: 306498/2012-0) e pelo Auxílio à Pesquisa (Processo: 475212/2011-8) à A.I. Coan e também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pela Bolsa de Mestrado (Processo: 2011/03358-8) e Doutorado (Processo: 2013/05120-4) à L.P. Poli.

## Referências

- Barabé, D. & Lacroix, C. 2008. Developmental morphology of the flower of *Anthurium jenmanii*: a new element in our understanding of basal Araceae. **Botany** **86**: 45-52.
- Barabé, D.; Forget, S. & Chrétien, L. 1984. Vascularisation de la fleur d' *Anthurium lhotzkyanum* (Araceae). **Comptes Rendus de l'Académie des sciences** Paris **299**: 651-656.
- Buzgo, M. & Endress, P.K. 2000. Floral structure and development of Acoraceae and its systematic relationships with basal angiosperms. **International Journal of Plant Sciences** **161**: 23-41.
- Carlsen, M.M. & Croat, T.B. 2013. A molecular phylogeny of the species-rich neotropical genus *Anthurium* (Araceae) based on combined chloroplast and nuclear DNA. **Systematic Botany** **38**: 576-588.



- Carvajal, M.E.B. 1977. Estudio morfológico comparativo las inflorescencias de dos especies de Araceae: *Anthurium denudatum* Engler y *Philodendron radiatum* Schott. **Revista de Biología Tropical** **25**: 301-333.
- Coelho, M.A.N. & Mayo, S.J. 2007. Typifications of names of Brazilian taxa of *Anthurium* sect. *Urospadix* (Araceae). **Taxon** **56**: 211-225.
- Coelho, M.A.N.; Waechte, J.L. & Mayo, S.J. 2009. Revisão taxonômica das espécies de *Anthurium* (Araceae) seção *Urospadix* subseção *Flavescentiviridia*. **Rodriguésia** **60**: 799-864.
- Coelho, M.A.N.; Temponi, L.G. & Pontes, T.A. 2014a. *Anthurium* In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB4912/>. Acesso 2014 Abr 02.
- Coelho, M.A.N.; Sakuragui, C.M.; Mayo, S.; Soares, M.L.; Temponi, L.G.; Calazans, L.S.B.; Gonçalves, E.G.; Andrade, I.M. de & Pontes, T.A. 2014b. Araceae In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/FB51>. Acesso 2014 Abr 02.
- Croat, T.B. 1991. A revision of *Anthurium* section *Pachyneurium* (Araceae). **Annals of the Missouri Botanical Garden** **76**: 539-855.
- Croat, T.B. & Carlsen, M.M. 2013. A reassessment of *Anthurium* species with palmately divided leaves, and a reinterpretation of *Anthurium* section *Dactylophyllum* (Araceae). **PhytoKeys** **23**: 41-54.
- Croat, T.B. & Sheffer R.B. 1983. The sectional groupings of *Anthurium* (Araceae). **Aroideana** **6**: 85-123.
- Endress, P.K. & Igersheim, A. 2000. Gynoecium structure and evolution in basal angiosperms. **International Journal of Plant Sciences** **161**: 211-223.
- Endress, P.K.; Jenny, M. & Fallen, M.E. 1983. Convergent elaboration of apocarpous gynoecia in higher advanced dicotyledons (Sapindales, Malvales, Gentianales). **Nordic Journal of Botany** **3**: 293-300.
- Engler, H.G.A. 1878. Araceae. Pp. 25-224. In: Martius, C.F.P. (Ed.). **Flora brasiliensis**. Vol. 3. Part 2. München, Monachii.
- French, J.C. 1987. Structure of ovular and placental trichomes of Araceae. **Botanical Gazette** **148**:198-208.
- Grayum, M.H. 1990. Evolution and phylogeny of the Araceae. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **77**: 628-697.
- Henslow, G. 1890. On the vascular systems of floral organs, and their importance in the interpretation of the morphology of flowers. **Journal of the Linnean Society of London, Botany** **28**: 151-197.
- Higaki, T., Rasmussen, H.P., & Carpenter, W.J. 1984. A study of some morphological and anatomical aspects of *Anthurium andreanum* Lind. **Research Series College of Tropical Agriculture and Human Resources** **30**: 1-12.
- Mantovani, A. & Pereira, T.E. 2005. Comparative anatomy of leaf and spathe of nine species of *Anthurium* (section *Urospadix* subsection *Flavescentiviridia*) (Araceae) and their diagnostic potential for taxonomy. **Rodriguésia** **56**: 145-160.
- Mantovani, A.; Filartiga, A.L.D.P. & Coelho, M.A.N. 2010. Anatomia comparada da folha e espata de espécies de *Anthurium* (Araceae) ocorrentes na Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Botânica** **33**: 185-200.
- Matsumoto, T.K., Kuehnle, A. & Webb, D. 1998. Zygotic embryogenesis in *Anthurium* (Araceae). **American Journal of Botany** **85**: 1560-1568.
- Mayo, S.J. 1989. Observations of gynoecial structure in *Philodendron* (Araceae). **Botanical Journal of the Linnean Society** **100**: 139-172.
- Mayo, S.J.; Bogner, J. & Boyce, P.C. 1997. **The genera of Araceae**. Kew, Royal Botanic Gardens.
- Poli, L.P.; Temponi, L.G. & Coan, A.I. 2012. Anatomical aspects of the gynoecium of species of *Anthurium* sect. *Urospadix* Engler (Araceae, Alismatales). **Flora** **207**: 615-621.
- Poli, L.P. 2013. **Ontogenia e anatomia do gineceu de espécies de Anthurium Schott (Araceae, Alismatales)**. Dissertação. Rio Claro, Instituto de Biociências de Rio Claro.
- Poli, L.P.; Temponi, L.G. & Coan, A.I. Ontogenetic gynoecial studies reveal notable phases in the flowers of *Anthurium* (Araceae, Alismatales). Manuscrito submetido ao periódico Botany.
- Poli, L.P.; Temponi, L.G. & Coan, A.I. Comparative anatomy of the gynoecial vasculature of species of *Anthurium* Schott (Araceae, Alismatales). Manuscrito submetido ao periódico Flora.



- Temponi, L.G. 2006. **Sistemática de *Anthurium* seção *Urospadix* (Araceae)**. Tese. São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Temponi, L.G.; Garcia, F.C.P.; Sakuragui, C.M. & Carvalho-Okano, R.M. 2005. Diversidade morfológica e formas de vida das Araceae no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais. **Rodriguésia** **56**: 1-13.
- The Plant List 2013. **A working list of all plant species**. Version 1.1. Disponível em: <http://www.theplantlist.org/>. Acesso 2014 Abr 02.

# EL USO DE SECUENCIACIÓN DE NUEVA GENERACIÓN PARA RESOLVER RELACIONES FILOGENÉTICAS EN LA FAMILIA ARACEAE

**Mónica Carlsen**

Missouri Botanical Garden, St. Louis, Missouri, USA.

[monica.carlsen@mobot.org](mailto:monica.carlsen@mobot.org)

En los últimos años, el uso de técnicas de secuenciación de nueva generación (NGS) ha permitido incrementar masivamente la cantidad de datos moleculares usados para reconstruir filogenias. Este estudio tiene la finalidad de investigar que cantidad de datos son necesarios para incrementar sustancialmente el soporte de los nodos principales en la filogenia del género *Anthurium* Schott, un género que incluye aprox. 1000 especies, y que se postula se originaron a través de una radiación rápida y reciente. También se comparan las regiones dentro del genoma de cloroplasto que presentan alta variabilidad y número de caracteres informativos, dado que estas regiones tienen potencial para ser utilizadas en estrategias de captura, enriquecimiento y secuenciación. Incrementando de esta manera el número de especies que se puede secuenciar simultáneamente y la precisión de los datos obtenidos. En este trabajo se generaron secuencias del genoma de cloroplasto casi completos para 39 especies del género *Anthurium* usando la técnica de “genome-skimming” (secuenciación rápida, de baja cobertura, de todo el ADN genómico). Para el secuenciamiento se utilizó la plataforma Illumina HiSeq. Las especies seleccionadas representan a la mayoría de los clados recuperados en un estudio filogenético previo. Genomas de cloroplastos de los grupos cercanos (otras aráceas basales, *Acorus* L. y *Alismataceae*) fueron obtenidos de GenBank y de otros colaboradores. Entre los resultados obtenidos tenemos que: en los genomas de cloroplasto, las secuencias de regiones intergénicas e intrones presentan una mayor cantidad de caracteres variables e informativos, especialmente las regiones adyacentes a genes del grupo “trn-” son particularmente variables en comparación con regiones codificantes. Como era de esperarse, el uso de secuencias casi completas del genoma del cloroplasto incrementa significativamente el soporte de los nodos en la filogenia del género *Anthurium*. Adicionalmente, se demuestra la utilidad de datos genómicos para esclarecer relaciones filogenéticas a nivel de géneros dentro de la familia Araceae.

# ARACEAE E AS FLORAS ESTADUAIS E DO BRASIL

**Marcus A. Nadruz Coelho**

Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

[mnadruz@jbrj.gov.br](mailto:mnadruz@jbrj.gov.br)

Para falar sobre listas regionais/nacional, sobre a família Araceae no Brasil, não podemos deixar de comentar sobre as primeiras citações de espécies, apresentadas a partir do século XVII. **George Marcgrave** e **Guilherme Piso**, em 1648, divulgando estudos da biodiversidade brasileira para europeus, entre 1638 e 1644, com informações sobre plantas medicinais, registraram seis gêneros e sete espécies da família Araceae ocorrentes no Brasil: *Anthurium coriaceum*, *Caladium bicolor*, *Dieffenbachia seguine*, *Dracontium asperum*, *Heteropsis jemanii*, *Montrichardia linifera*, *Philodendron imbe* e *Xanthosoma sagittifolium* (esta última nativa das Antilhas, largamente cultivada no Brasil). Os autores estiveram em alguns estados do Nordeste.

Em 1703, **Charles Plumier** publicou o tratamento *Nova Plantarum Americanarum Genera*, entre 1695 e 1697, após uma viagem entre Guadalupe, Martinica e, possivelmente, costa do Brasil. Apesar da viagem ao território brasileiro não ser confirmada, algumas espécies citadas por Plumier ocorrem aqui, tais como: *Anthurium clavigerum*, *A. cf. trinervium*, *Dieffenbachia seguine*, *Monstera adansonii*, *Montrichardia arborescens*, *Philodendron hederaceum* e *Syngonium vellozianum*, totalizando seis gêneros e sete espécies.

A primeira flora estadual veio com o naturalista brasileiro **José Mariano da Conceição Vellozo** que foi convidado, em 1782, a chefiar a expedição de estudos em botânica (1783-1790) pelo estado do Rio de Janeiro. Deste trabalho resultou a publicação póstuma, em onze volumes ricamente ilustrados, do *Florae Fluminensis* (1825-1831). A família Araceae está representada nesse tratamento por 10 gêneros, 23 espécies e 21 estampas, sendo que desse total *Dracontium bissectum* é na verdade uma Cyclanthaceae (*Thoracocarpus bissectus*), *Pothos enneaphylla* e *P. heptaphylla* são sinônimos de *Anthurium pentaphyllum* e *Colocasia antiquorum var. typica* e *esculenta* são exóticas, totalizando, então, 9 gêneros e 20 espécies [*Anthurium* [5], *Asterostigma* [1], *Caladium* [1], *Heteropsis* [1], *Monstera* [1], *Montrichardia* [1], *Philodendron* [7], *Syngonium* [1] e *Xanthosoma* [2]].

No período entre 1817 e 1820 **Carl Friedrich Phillipp von Martius** esteve no Brasil, pesquisando as regiões mais importantes e formando coleções botânicas, zoológicas e mineralógicas. Juntamente com **Johann Baptiste de Spix**, coletaram diversos exemplares de vegetais que, posteriormente, foram reunidos na *Flora Brasiliensis*, resultando no tratamento taxonômico de 22767 espécies, organizadas em 15 volumes com 10367 páginas e 3811 litografias. A família Araceae foi apresentada no volume 3(2), em 1878, por **Heinrich Gustav Adolf Engler**, considerado o segundo maior monógrafo da família depois de Heinrich Schott, totalizando 24 gêneros e 114 espécies, incluindo belíssimas ilustrações.

**Balduino Rambo**, nos Anais Botânicos do Herbário Barbosa Rodrigues de 1950, publicou as Aráceas Riograndenses, talvez a primeira flora estadual pós Vellozo. Dentre as espécies citadas, após 20 anos de pesquisa de campo, apenas *Anthurium scandens*, *Philodendron selloum* (atualmente *P. bipinnatifidum*), *Philodendron imbe* (provavelmente *P. appendiculatum*), *Philodendron sonderianum*

(provavelmente *P. missionum*), *Asterostigma lividum* (talvez *A. reticulatum*), *Spathicarpa hastifolia*, *S. lanceolata*, *Pistia stratiotes* e *Mangonia tweedieana* possuem ocorrência confirmada no estado gaúcho. As espécies *Anthurium willdenowii* (provavelmente *A. sellowianum* ou *A. lacerdae*), *Anthurium undulatum* (provavelmente *A. sellowianum*), *Anthurium gaudichaudianum*, *Philodendron bipinnatifidum*, *Philodendron ochrostemon*, *Philodendron tweedieanum*, *Asterostigma tweedieanum* e *Heteropsis tweedieanum* foram consideradas por estarem próximas ao estado do Rio Grande do Sul (Santa Catarina e Uruguai). A totalidade da família que realmente tem distribuição no estado do Rio Grande do Sul, segundo a publicação de Rambo, é de seis gêneros e nove espécies.

A primeira lista exclusivamente de espécies brasileiras foi publicada por **Graziela Maciel Barroso**, nos Arquivos do Jardim Botânico, sob o título de Araceae do Brasil, em 1959/61, baseado no tratamento de Engler e Krause - *das Pflanzenreich*. Pesquisadora do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, além de se especializar em diversos grupos botânicos, realizou trabalhos com a família entre 1956 e 1970, publicando, principalmente, espécies novas de *Anthurium* e *Philodendron* (12 no total). A respectiva lista contabilizava 24 gêneros e 220 espécies, porém os gêneros *Scaphispatha*, *Schismatoglottis*, *Ulearum* e *Zomicarpella* não foram incluídos, sendo o penúltimo considerado, equivocadamente, exótico.

As Aráceas Catarinenses foram publicadas, pela primeira vez, em 1957, numa separata da revista *Sellowia*, por **Raulino Reitz**, padre católico, botânico, historiador brasileiro e fundador do herbário Barbosa Rodrigues. O resultado dessa publicação culminou com sete gêneros e 25 espécies, sendo quatro novas para a ciência (*Philodendron renauxii*, *P. melanorrhizum*, *Anthurium pilonense* e *A. lacerdae*), com ilustrações, informações fitogeográficas e utilidades para cada uma das espécies. Vale ressaltar a valiosa contribuição no conhecimento das espécies estudadas, em vista das detalhadas descrições, sendo pioneiras para um trabalho de flora com o grupo no Brasil.

Para completar o conhecimento da família Araceae no Sul do Brasil, **João Angely** em 1965, na Flora Analítica do Paraná, relacionou as espécies daquele estado, indicando para cada uma a Obra Princeps e o basônimo, quando pertinente. O resultado desse trabalho totalizou sete gêneros e 27 espécies, sendo os gêneros mais numerosos *Philodendron* (12) e *Anthurium* (8).

**Simon Joseph Mayo**, botânico inglês, atualmente aposentado do Jardim Botânico de Kew, Londres, baseado no trabalho de Graziela Maciel Barroso em 1959/1961, em bibliografias e material de herbário, junto com colaboradores em 1988, organizou manuscrito (não publicado) sobre o *Checklist* da família Araceae no Brasil. Para cada espécie listada eram apresentadas informações sobre *vouchers* de diversos herbários, distribuição nos estados brasileiros com respectivos coletores e números de coleta. Este trabalho totalizou 27 gêneros e 255 espécies nativas, sendo que em 1996 a referida listagem sofreu atualização no número de táxons, resultando em 30 gêneros e 384 espécies, um aumento de 11,2% e 50,5%, respectivamente. Em relação a listagem publicada por Graziela Barroso, em 1959/1961, o aumento foi mais significativo, com 25% e 74,5%, respectivamente. Além das espécies com ocorrência no Brasil, o autor relacionou espécies exóticas comumente encontradas, totalizando 13 gêneros e 19 espécies.

As floras estaduais modernas, a partir do século 21, iniciaram pelos estados de Goiás e Tocantins, na coleção Rizzo. Em 2009 **Eduardo G Gonçalves** e **Marcus A Nadruz Coelho** publicaram o fascículo Araceae, baseado nos materiais depositados nos herbários da Universidade Federal de Goiás, Universidade de Brasília, IBGE, Instituto de Botânica de São Paulo, JBRJ e Museu Botânico de Curitiba. Foram apresentadas ilustrações a nanquim, representando todos os gêneros ocorrentes nos estados, e informações sobre fenologia para todas as espécies estudadas. Os resultados mostraram 16 gêneros e 35 espécies, sendo duas novas espécies (*Caladium* e *Xanthosoma*). Os gêneros mais numerosos foram *Philodendron* (10 spp.) e *Xanthosoma* (6 spp.).

No ano seguinte, no volume 8 da Flora do Distrito Federal, Brasil, **Eduardo G Gonçalves** publicou a família Araceae. O autor aproveitou dos extensos estudos realizados, ao longo de vários anos,

no Distrito Federal e apresentou um excelente trabalho com ilustrações e comentários sobre distribuição geográfica, fenologia e morfologia. Os resultados totalizaram cinco gêneros e 11 espécies, sendo o mais numeroso *Philodendron* (6 spp.).

Em 2012 foi lançado o 7º volume da Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo. Foram apresentadas 19 famílias botânicas, entre elas a família Araceae. Com a coordenação de **Marcus A Nadruz Coelho** e a participação **Eduardo G Gonçalves**, **Cassia M Sakuragui** e **Lívia G Temponi** foram apresentadas descrições, chaves de identificação e maravilhosas ilustrações, representando cada gênero listado, além de informações sobre distribuição geográfica e estado de conservação. Foram contabilizados 13 gêneros e 77 espécies, sendo *Anthurium* com 37 e *Philodendron* com 19 espécies os mais numerosos. Apesar de sofrer com desmatamento ao longo dos anos, a vegetação do Estado de São Paulo mostrou-se muito diversificada, como pode ser observado pelo total de táxons ocorrentes e um número relativamente alto de possíveis espécies novas (sete para *Anthurium* e uma para *Xanthosoma*).

No mesmo ano o Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, volume 1, foi publicado, totalizando 2341 espécies para o estado. Com autoria de **Marcus A Nadruz Coelho** a família Araceae foi apresentada com 12 gêneros e 44 espécies, estando entre as 15 mais numerosas do estado. Os gêneros *Anthurium* (14) e *Philodendron* (13), foram os mais representativos. Espécies raras, endêmicas e indicadoras de biodiversidade, da família, foram citadas, juntamente com informações sobre distribuição nas formações vegetais de Santa Catarina. Comparando-se com a primeira publicação sobre o grupo para o estado (Raulino Reitz em 1957), houve um crescimento de 7 para 12 gêneros (71%) e 25 para 44 espécies (76%).

A primeira lista estadual para o nordeste foi publicada para o estado do Ceará por **Ivanilza M de Andrade**, **Simon J Mayo** e colaboradores, em 2013. O estudo taxonômico da família apresentou 28 táxons em 19 gêneros, sendo *Philodendron* (4 spp.) e *Anthurium* (3 spp.) os mais numerosos. Chave de identificação, informações sobre distribuição geográfica e estado de conservação para cada espécie foram apresentadas. Cinco espécies foram registradas pela primeira vez para o estado, sendo uma exótica naturalizada (*Typhonium roxburghii*).

Recentemente lançado pelo Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, coordenado por **José Fernando Baumgratz** e **Marcus A Nadruz Coelho** (2014), o Catálogo de Espécies de Plantas Vasculares e Briófitas da Flora do Estado do Rio de Janeiro objetiva divulgar *on-line* a diversidade de plantas ocorrente no estado fluminense. O projeto apresenta como resultado um total de 8.876 espécies, subespécies e variedades, sendo 1.119 de Briófitas, 573 de Samambaias e Licófitas, 2 de Gimnospermas e 7.181 de Angiospermas. A família Araceae está representada por 103 táxons distribuídos em 20 gêneros, sendo os mais numerosos *Anthurium* com 44 e *Philodendron* com 31. Até o momento o estado do Rio de Janeiro vem se mostrando o mais representativo em termos de táxons da família Araceae, em comparação com outros estados onde o levantamento do grupo foi realizado. As informações constantes para cada espécie, relacionadas no catálogo, são: nome científico aceito (com base na Lista de Espécies da Flora do Brasil), distribuição nos municípios e no Brasil, ocorrência em Unidade de Conservação e tipo de vegetação, estado de conservação e material testemunho documentado em coleção de herbário.


Em 2010 foi lançada a primeira versão online e a publicação do Catálogo de Plantas e Fungos do Brasil. Os resultados das pesquisas possibilitam o acesso ao Index Herbariorum, a partir dos acrônimos dos herbários, além de fornecerem imagens de exsicatas, inclusive de tipos nomenclaturais, provenientes tanto do Herbário Virtual Re flora como do INCT Herbário Virtual da Flora e dos Fungos. Até o momento, são reconhecidas **43935** espécies para a flora brasileira, sendo **4312** de Algas, **32162** de Angiospermas, **1535** de Briófitas, **4674** de Fungos, **30** de Gimnospermas e **1222** de Samambaias e Licófitas. A família Araceae, coordenada por **Marcus A Nadruz Coelho**, vem tendo um crescimento no número de gêneros e espécies a cada ano: 2010 – 35 gêneros e 458 espécies; 2011

– 35 gêneros e 476 espécies; 2012 – 36 gêneros e 480 espécies; 2013 – 36 gêneros e 483 espécies e 2014 – 36 gêneros e 485 espécies. Provavelmente até final de 2015 teremos um total de 37 gêneros e 500 espécies. Os gêneros *Philodendron* e *Anthurium*, com 168 e 129 respectivamente, são considerados os maiores da família.

Três floras estaduais estão previstas para os próximos três anos: Rio de Janeiro, onde a família está em fase de conclusão; Sergipe, cujos autores já receberam material e os trabalhos já iniciaram e Espírito Santo, que já possui muito material coletado e depositado nos principais herbários do Espírito Santo e no RB.

## Referências

- Andrade, I.M. & Mayo, S.J. 2013. The Araceae of Ceará, Brazil: humid forest plants in a semi-arid region. **Rodriguesia** **64(3)**: 1-33.
- Angely, J. 1965. Flora analítica do Paraná: Araceae. **Coleção Saint Hilaire** **7**: 193-196. Ed. Phytton. Brasil.
- Barroso, G.M. 1959/61. Araceae do Brasil. **Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. **15**: 89-98.
- Coelho, M.A.N., Sakuragui, C.M. & Calazans, L. 2014. Araceae. **Catálogo das espécies de plantas vasculares e briófitas do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://florariojaneiro.jbrj.gov.br>>
- Coelho, M.A.N., Gonçalves, E.G. Sakuragui, C.M. & Temponi, L.A. 2012. **Araceae**. In: Maria das Graças Lapa Wanderley; George John Shepherd; Therezinha Sant'Ana Melhem, Ana Maria Giulietti, Suzana Ehlin Martins. (Org.). Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Botânica, 2012, v. 7, p. 27-71.
- Coelho, M.A.N. 2012. Importancia das coletas florísticas para o IFFSC - Araceae. In: Lucia Savegnani; André Luis Gasper; Débora Vanessa Lingner. (Org.). **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, volume 1**. 1ed. Santa Catarina: FURB, 2012, v. 1, p. 282-284.
- Coelho, M.A.N.; Sakuragui, C.M.; Mayo, S.; Soares, M.L.; Temponi, L.G.; Calazans, L.S.B.; Gonçalves, E.G.; Andrade, I.M. de; Pontes, T.A. **Araceae** in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB51>>. Acesso em: 28 Abr. 2014
- Engler, H.G.A. 1878. **Araceae**. In Martius, C.F.P. von, Fl. Bras. 3(2): 56-88. Tab. 11-102.
- Gonçalves, E.G. & Coelho, M.A.N. 2009. **Flora dos estados de Goiás e Tocantins, coleção Rizzo**, vol. 39. Araceae.
- Gonçalves, E.G. 2010. **Flora do Distrito Federal**, Brasil. Araceae, vol. 8.
- Mayo, S.J. 1988. **Checklist da família Araceae no Brasil**, versão 16 fev 1996: 1-88. Manuscrito.
- Piso, G. 1648. **De Indiae utriusque re naturali et medica libri quatuordecim :quorum contenta pagina sequens exhibet**.
- Plumier, C. 1703. **Nova Plantarum Americanarum Genera**.
- Rambo, B. 1950. Araceas Riograndenses. **Anais botânicos do herbário Barbosa Rodrigues**. Ano II, número 2: 119-123.
- Reitz, R. 1957. Araceas Catarinenses. **Sellowia** **8(9)**: 20-70.
- Vellozo, J. M. C. 1829 ["1825"]. **Florae fluminensis**, Text. Rio de Janeiro, ex Typographia nationali.
- Vellozo, J. M. C. 1831 ["1827"]. **Florae Fluminensis**, Icones 9: pl. 121. Paris, Senefelder.



# ADVANCES IN SYSTEMATICS, EVOLUTION AND BIOGEOGRAPHY OF EUPHORBIACEAE AND PHYLLANTHACEAE IN LATIN AMERICA

**Ricarda Riina**

Real Jardín Botánico de Madrid, RJB-CSIC, España.

[rgriina@gmail.com](mailto:rgriina@gmail.com)

The families Euphorbiaceae and Phyllanthaceae are two lineages with an enormous number of species, most of which distributed in tropical regions worldwide. However, despite their importance and ubiquity in the tropics, our understanding of their systematics, phylogenetic relationships, evolution, and biogeography still has significant gaps and is falling behind other families similar in diversity and importance. I argue that the so-called “taxonomic impediment” continues to be relevant in these two major clades of Malpighiales and in their Neotropical lineages in particular. This is also true for groups within Euphorbiaceae and Phyllanthaceae for which major efforts and resources have been devoted in recent years to disentangle their phylogenetic relationships and/or revise their taxonomy. For this discussion, I will first focus on the four most species-rich genera, namely *Acalypha*, *Croton*, *Euphorbia* (all in Euphorbiaceae) and *Phyllanthus* (Phyllanthaceae) highlighting our progress, or lack of it, in the above mentioned subjects. Second, I propose to discuss the factors that are contributing positively or negatively to our understanding of both families, such as: 1) human resources (taxonomists) available; 2) digital resources (virtual herbaria, taxonomic or floristic web-sites); 3) the capability to generate molecular data for phylogenetic and evolutionary studies in Latin American institutions; 4) the bureaucratic burden required for collecting and exchanging samples among collaborators; 5) the ability to create and maintain virtual networks among scholars working on these plant groups throughout Latin America; 6) the importance of interacting with other fields in biology and beyond; 7) other factors considered relevant by members of this round table. Lastly, we will discuss strategies to overcome the current limitations in studying these two plant families, questions to address in future research studies, as well as determine which taxonomic groups (genera, sections, subsections) have been neglected and need to be given more attention in Latin America.



# TRIBE CROTONEAE IN BRAZIL: PRESENT AND FUTURE

**Maria Beatriz Rossi Caruzo<sup>1</sup>, Daniela Santos Carneiro Torres<sup>2</sup>,  
Inês Cordeiro<sup>3</sup>, Letícia Ribes de Lima<sup>4</sup>, Otávio Luis Marques da Silva<sup>3</sup>  
& Ricardo Secco<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de São Paulo, Diadema, Brasil.

[mbrcaruzo@hotmail.com](mailto:mbrcaruzo@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil.

<sup>3</sup>Instituto de Botânica, Seção de Curadoria do Herbário, São Paulo, Brasil.

<sup>4</sup>Universidade Federal de Alagoas, Macéio, Brasil.

<sup>5</sup>Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Brasil.

Euphorbiaceae is one of the most complex and diverse families of Angiosperms, even in its more restrict delimitation that has been proposed in the last years (APG II 2003; Tokuoka 2007; Wurdack et al. 2005; Wurdack & Davis 2009). The family has 245 genera (Radcliffe-Smith 2001) and about 6300 species (estimated from Govaerts et al. 2000) distributed worldwide, mainly in tropical areas.

The tribe Crotonae belongs to subfamily Crotonoideae (Webster 1994), which is characterized by its lactiferous members with crotonoid pollen grains. In its original delimitation (Dumortier 1829), the tribe was composed by the following genus: *Croton* L., *Crozophora* Pax & K. Hoffm. (invalid name), *Jatropha* L., *Janipha* Kunth (= *Manihot* Mill.), *Aleurites* J.R. Forst. & G. Forst. and *Siphonia* D. Richard ex Schreber (= *Hevea* Aubl.). However, the circumscription of the tribe was extremely changed in the 20<sup>th</sup> century. The delimitation proposed by Webster (1994) was broadly accepted, and included the following genus: *Croton*, *Fahrenheitia* Rchb. & Zoll. ex Müll.Arg., *Mildbraedia* Pax and *Moacroton* Croizat. However, its circumscription was still controversial and molecular phylogenetic studies had shown that the tribe in its traditional sense was not monophyletic (Berry et al. 2005a; Wurdack et al. 2005).

According to Berry et al. (2005a), *Paracroton* Miq. and *Mildbraedia*, traditionally included in tribe Crotonae, were not related to *Croton*. Instead, those genera were related to others from subfamily Crotonoideae *sensu* Wurdack (2005). Berry et al. (2005a) proposed a new circumscription for the tribe, which includes *Acidocroton* Griseb., *Ophellantha* Standl., *Sagotia* Baill. and *Sandwithia* Lanj., some small genera from Central America and Amazon rain forest, *Brasiliocroton* P.E. Berry & Cordeiro, a recently described brazilian genus, and *Astraea* Klotzsch, reestablished by the authors, besides *Croton* L., the second largest genus of Euphorbiaceae with about 1200 recognized species.

In Brazil, the tribe has been studied mainly because of the great interest of scientific community in its “giant genus” *Croton*. Here we present an overview of recent studies, mainly involving systematics, with tribe Crotonae in Brazil.

## **Brasiliocroton: an endemic genus from Brazil**

Berry et al. (2005b), after extensive herbarium work, located collections of a new taxon. According to Berry et al. (2005b), the collections were previously identified as *Micrandra* Benth., although many characteristics (e.g. numerous stamens, stellate pubescence, and inaperturate pollen with a croton exine pattern) of the specimens were “crotonoid”. However, the erect anthers in the bud excluded the specimens from *Croton* and a new monotypic genus based on *Brasiliocroton mamoninha* P.E. Berry & I. Cordeiro (a small-medium size tree from Atlantic Rain Forest) was proposed (Berry et al. 2005b). Wurdack et al. (2005) was the first to include the new monotypic genus in a molecular phylogeny and, as a result, the genus emerged as sister group of *Croton*. In order to determine the real position of the new genus in relation to *Croton* and other members of Crotoneae, Berry et al. (2005a) included two accessions of it in a molecular phylogenetic survey of the tribe. In this study, *Brasiliocroton* was recovered again as sister group of *Croton*. According to Berry et al. (2005a), with the erect anthers in the bud as the main characteristic distinguishing *Brasiliocroton* from *Croton*.

Riina et al. (2014) described a second species of *Brasiliocroton* and evaluated again the position of the genus within tribe Crotoneae. According to Riina et al. (2014), *B. muricatus*, was recovered forming a clade with *B. mamoninha*, sister to *Croton*. In this study, Riina et al. (2014) discussed the evolution of morphological characters in tribe Crotoneae and pointed out other two characteristics distinguishing *Brasiliocroton* from *Croton*: the highly branched and expanded inflorescences and conspicuously verrucose stigmatic surface.

## **The resurrection of *Astraea***

*Astraea* was long been considered as a section of *Croton* by many authors because of the combination of inflexed anthers in bud and the presence of stellate and simple trichomes, but recent phylogenetic studies on tribe Crotoneae (Berry et al. 2005a; Riina et al. 2014), along with morphological differences between the flowers of these genera showed by De Paula et al. (2011), supported the recognition of *Astraea* as a valid genus. The genus was one of the most sharply defined sections of *Croton* (Webster 1993) by its usually 3-5-lobed leaves without petiolar glands, pistillate flowers with cylindrical, slender and highly branched styles, staminate flowers with imbricate perianth and nearly or quite glabrous receptacle and tetragonous, and strongly carunculate seeds (Berry et al. 2005a; Webster 1993).

There is a strong nomenclatural problem within *Astraea* (most species assigned to *Astraea* in its description (Klotzsch 1841) are *nomina nuda* and some of them were even wrongly considered by some authors as new combinations for *Croton* species [see Van Ee 2011]) and the delimitation of its species, as the relationship between them, are quite unclear. Also, *Astraea lobata* (L.) Klotzsch, shows an extraordinary morphological diversity and is a weedy species which has as natural distribution range most of the Neotropics, and is reported as an alien species in Africa and Yemen (Caruzo et al. 2014).

*Croton* species, which belonged to the former sect. *Astraea*, have been transferred to *Astraea* in a series of works (e.g. Berry et al. 2005a; Van Ee 2011; Caruzo et al. 2014). Also, a taxonomic revision, molecular phylogeny and biogeography of *Astraea* is currently underway as a part of the studies with tribe Crotoneae in the Neotropics.

## The “giant” *Croton*: phylogenetic studies and taxonomic revisions for mostly Brazilian groups

*Croton* is one of the most species-rich Angiosperm genus, with about 1200 species worldwide, and it is found mostly in tropical regions. Brazil is one of the centers of diversity for the genus, with approximately 350 species of *Croton*, most of them concentrated in the eastern part of the country (Caruzo et al. 2010). Besides its great morphological diversity, *Croton* species can be easily recognized due to its conspicuous stellate or lepidote trichomes, narrow or condensed thyrsoid inflorescences of unisexual flowers, clear or colored sap, frequent petiolar glands, and senescent leaves that turn orange before abscising (Riina et al. 2009).

Recognition of infrageneric groups within *Croton* was first proposed by Müller (1866, 1873) and Baillon (1858, 1864). Webster (1993) recognized 40 sections and five subsections within the genus. Berry et al. (2005a) studied the phylogenetic relationships between *Croton* and related groups and showed that *Croton* was monophyletic once the former *Croton* sect. *Astraea* (Klotzsch) Baill. was removed and restored to separate generic status. The studies of Berry et al. (2005a), allowed a more detailed review of some groups within *Croton*. Currently, many other phylogenetic studies have contributed to building an infrageneric classification of *Croton* that reflects phylogenetic relationships (Riina et al. 2009, 2010; Van Ee & Berry 2009, 2010, 2011; Van Ee et al. 2008, 2011). However, relationships within many sections have yet to be explored (Caruzo et al. 2011).

The following groups of *Croton*, with predominantly Brazilian distribution, were phylogenetically redefined: *Croton* section *Cleodora* (Caruzo et al. 2011), *Croton* section *Pedicellati* (Van Ee & Berry 2011), *Croton* section *Cyclostigma* (Riina et al. 2009), *Croton* sect. *Cuneati* (Riina et al. 2010), and *Croton* sect. *Luntia* (Riina et al. 2010). Among these sections, only *Croton* section *Cleodora*, *Croton* sect. *Cyclostigma*, and *Croton* sect. *Cuneati* were taxonomically revised (Caruzo & Cordeiro 2013, Riina 2006, Riina et al. 2010).

Caruzo et al. (2011) revised the phylogenetic relationships within *Croton* section *Cleodora*, proposed a new delimitation for the group, and recognized two subsections and 18 species for the section. According to Caruzo & Cordeiro (2013), *Croton* section *Cleodora* is defined by two morphological synapomorphies: pistillate flowers with overlapped sepals and styles connate at the base. *Croton* section *Cleodora* is entirely neotropical and its main center of diversity is located in eastern Brazil (Caruzo & Cordeiro 2013).

Riina et al. (2010) studied the phylogenetic relationships within *Croton* sect. *Luntia* (*sensu* Webster 1993). In their studies, Riina et al. (2010) found that the two subsections (*Croton* sect. *Luntia* subsect. *Matourenses* and *Croton* sect. *Luntia* subsect. *Cuneati*) assigned to *Croton* sect. *Luntia* were not closely related and formed distinct monophyletic groups. Riina et al. (2010) proposed a recircumscription for the two subsections, elevating them to sectional level, and provided a taxonomic revision for *Croton* sect. *Cuneati*. According to Riina et al. (2010), *Croton* sect. *Cuneati* is an arborescent section defined by two synapomorphies: loosely crenate to dentate leaf margins with sessile to shortly stipitate discoid glands in the sinuses and the loss of the typical *Croton* caruncle. The section is most diverse in northern South America (Van Ee et al. 2011).

The phylogenetic relationships of *Croton* section *Cyclostigma sensu* Webster (1993) were examined by Riina et al. (2009). As a result, Riina et al. (2009) recovered a polyphyletic *Croton* section *Cyclostigma sensu* Webster (1993) with almost half of its species spread out in several different *Croton* lineages. The section has a great morphological diversity and it is found in secondary vegetation of dry to wet forests from central Mexico and Central America to tropical and subtropical South America (Van Ee et al. 2011).

Other *Croton* sections were taxonomically revised (*Croton* sect. *Julocroton* [treated as genus *Julocroton* by Cordeiro 1993], *Croton* sect. *Lamprocroton* [Lima & Pirani 2008a], *Croton* sect. *Argyroglossum* [Gomes 2006], and *Croton* sect. *Medea* [Medeiros 2007]), but they still need a critical phylogenetic revision of their limits.

Although there are several phylogenetic studies with groupings within *Croton*, relationships within most sections have yet to be explored (Caruzo et al. 2011). Once many of *Croton* sections are highly represented in Brazil, it is worthy Brazilian researchers establish partnerships with international groups, joining efforts to propose studies on those groups.

## Southeastern and Northeastern Brazil: focus on *Croton*

Most studies with Crotonaeae on southeastern Brazil focus on genus *Croton*. Besides the descriptions of new taxa (e.g. Caruzo et al. 2008; Caruzo et al. 2010; Medeiros et al. 2002; Medeiros et al. 2009), there are a great number of regional floras involving the genus. Among the main treatment for *Croton* in the southeastern Brazil we highlight the following: Flora Fanerogâmica da Reserva do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo (Cordeiro 1989); Euphorbiaceae Juss. – Espécies ocorrentes nas restingas do Estado do Rio de Janeiro, Brasil (Oliveira et al. 1989); Flora Fanerogâmica da Ilha do Cardoso, São Paulo (Cordeiro 1992a); Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais (Cordeiro 1992b); O gênero *Croton* na Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais (Lima & Pirani 2003); Flora de Grão Mogol, Minas Gerais (Cordeiro 2004); Sinopse da tribo Crotonaeae Dumort. (Euphorbiaceae s.s.) no Estado de São Paulo, Brasil (Caruzo & Cordeiro 2007). With the works presented here, it is clear that the main lack of research in southeastern Brazil is for the state of Espírito Santo.

Although there is some work with other Crotonaeae members in northeastern Brazil (e.g. description of a new species of *Brasiliocroton* [Riina et al. 2014] and regional floras dealing with *Astraea* species [Déda et al. 2013]), most studies in this region is focused on genus *Croton*. Carneiro-Torres (2009) developed a great work involving species of *Croton* from 'Caatinga'. In this study 68 species of *Croton* were recognized, of which 21 are endemic to this Brazilian phytogeographic region. As a product of this work, Carneiro-Torres et al. (2011) described three new species of *Croton* from 'Caatinga'. Partnerships established in this work made possible the realization of these and other studies (e.g. "Biogeographic history of *Croton* (Euphorbiaceae): origin, dispersal, and diversification patterns in the Neotropics", in preparation by Ricarda Riina, Paul Berry and Daniela S. Carneiro-Torres with the collaboration of Toby Pennington), proving that work in partnership is much more effective when dealing with a "giant genus" as *Croton*.

Most studies involving members of tribe Crotonaeae in northeastern region are regional floras (e.g. Cordeiro 1992b; Cordeiro 1995; Carneiro et al. 2002), but also some *Croton* species were described for the region in the last years (Cordeiro et al. 2008; Gomes et al. 2010; Lima & Pirani 2008b; Carneiro-Torres et al. 2011). Recently, a treatment for *Croton* and *Astraea* was done for the State of Sergipe (Déda et al. 2013). A checklist for the State of Alagoas listed 16 species of *Croton* (Lyra-Lemos et al. 2010), although two of them are no longer being treated as *Croton* but as *Astraea*. Also, a synopsis for *Croton* was prepared by Silva et al. (2010) for the state of Pernambuco.

A monography for the genus *Croton* in the state of Alagoas is being developed by Letícia R. de Lima as part of the "Flora Fanerogâmica do Estado de Alagoas". Monographs of *Astraea* (with 3 species), *Brasiliocroton* (2 species) and *Croton* (with about 70 species) are being prepared for the state of Bahia, under the coordination of Dr. Daniela Santos Carneiro Torres.

Although there are some ongoing studies with *Croton* in northeastern Brazil, there is still a lack of taxonomic studies with the genus within this region and more efforts to fill this gap, mainly establishing partnerships, is needed.

## Taxonomic studies in Crotonae in the Brazilian Amazon Rain Forest

From the 80's, there were a large increase in taxonomic studies about Euphorbiaceae in Amazon region, especially involving subfamily Crotonoideae (*sensu* Webster 1994), tribe Crotonae, starting with works from Secco (1985, 1990), which discussed the varieties of *Sagotia racemosa* Baill., raising *S. racemosa* var. *brachysepala* to *S. brachysepala* (Müll.Arg.) Secco. After this, Secco (1987) dealt with systematics of *Sandwithia*, relating it with *Sagotia* and *Anomalocalyx* Ducke. Secco (1988) proposed a second species of *Sandwithia*, *S. heterocalyx* Secco, which differs from *S. guyanensis* Lanj. by the morphology of its sepals (free pistillate sepals in *S. heterocalyx* vs. united pistillate sepals in *S. guyanensis*).

Regarding to *Croton*, the largest genus within the tribe, many taxonomic novelties for the genus were proposed (e.g. Secco 1993; Secco et al. 2001; Secco 2004; Secco 2009; Secco & Berry 2010; Riina & Berry 2010; Riina & Berry 2011; Secco et al. 2012). Secco (2008) studied 42 species of *Croton* from Brazilian Amazon, registering new records for some states of the region. It is important to highlight that Secco & Cordeiro (2002) registered the first occurrence of *Croton urucurana* Baill., an arborescent species very common in southeastern Brazil, to Brazilian Amazon.

Currently, although there are some ongoing studies with *Croton* in Brazilian Amazon, mainly with *Croton* sect. *Cleodora* species, the tribe Crotonae still needs a broad revision in this important Brazilian phytogeographic region.

## Almost forgotten regions: central and southern Brazil

Some contributions for the knowledge of *Croton* were done in southern Brazil by Smith & Downs (1959) and Smith et al. (1988). Smith et al. (1988) developed a great taxonomic treatment for 31 species of the genus *Croton* (including species from *Astraea* previously recognized as *Croton*). Allem (1979) described four new shrubby species of *Croton* for Rio Grande do Sul, and Lima & Pirani (2008b) described two new species of *Croton* section *Lamprocroton* for the region.

The knowledge about tribe Crotonae in Central Brazil is still scarce, mainly for the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul. However, occasional works with genus *Croton* have been done (e.g. Secco & Berry 2013; Silva et al. 2014; Sodr e et al. 2014). The monography of *Croton* for "Flora do Distrito Federal" is ongoing under the coordination of Dr. Ricardo Secco. Also, a group from University of Goias, led by Dr. Marcus Jos e da Silva, is studying the diversity of the genus *Croton* in "Chapada dos Veadeiros", Goias.

## References

- Allem, A.C. 1978. Preliminares para uma abordagem taxon mica do g nero *Croton* L. (Euphorbiaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Boletim do Museu Bot nico Municipal** 34:1-33.
- APG. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society** 141: 399-436.
- Baillon, H. 1858. **Etude générale du groupe des Euphorbiac es**. Paris, Victor Masson.
- Baillon, H. 1864. Euphorbiac es Americaines. **Adansonia** 4: 257-377.
- Berry, P.E.; Hipp, A.L.; Wurdack, K.J.; Van Ee, B. & Riina, R. 2005a. Molecular phylogenetics of the giant genus *Croton* and tribe Crotonae (Euphorbiaceae *sensu stricto*) using ITS and trnL-trnF DNA sequence data. **American Journal of Botany** 92: 1520-1534.
- Berry, P.E.; Cordeiro, I.; Wiedenhoef, A.C.; Vitorino-Cruz, M.A. & Lima, L.R. 2005b. *Brasiliocroton*, a new crotonoid genus of Euphorbiaceae s.s. from eastern Brazil. **Systematic Botany** 30: 357-365.

- Carneiro, D.S.; Cordeiro, I. & França, F. 2002. A família Euphorbiaceae na flora de inselbergs da região de Milagres, Bahia, Brasil. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** 20: 31-47.
- Carneiro-Torres, D.S. 2009. **Diversidade de *Croton* L. (Euphorbiaceae) no bioma Caatinga**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil.
- Carneiro-Torres, D.S.; Cordeiro, I. ; Giuliatti, A.M.; Berry, P.E. & Riina, R. 2011. Three new species of *Croton* (Euphorbiaceae s.s.) from the Brazilian Caatinga. **Brittonia** 63: 122-132.
- Caruzo, M.B.R. & Cordeiro, I. 2007. Sinopse da tribo *Crotoneae* Dumort. (Euphorbiaceae s.s.) no Estado de São Paulo, Brasil. **Hoehnea** 34: 571-585.
- Caruzo, M.B.R.; Riina, R.; Cordeiro, I. & Berry, P.E. 2008. *Croton campanulatus* (Euphorbiaceae s.s.), a new species from the Brazilian Atlantic rain forest. **Brittonia** 60: 261-264.
- Caruzo, M.B.R.; Cordeiro, I.; Berry, P.E. & Riina, R. 2010. A new species of *Croton* section *Cleodora* (Euphorbiaceae s.s.) from Minas Gerais, Brazil. **Phytotaxa** 3: 27-33.
- Caruzo, M.B.R.; Van Ee, B.W.; Cordeiro I.; Berry P.E. & Riina, R. 2011. Molecular phylogenetics and character evolution of the “sacaca” clade: novel relationships of *Croton* section *Cleodora* (Euphorbiaceae). **Molecular Phylogenetics and Evolution** 60: 193-206.
- Caruzo, M.B.R. & Cordeiro, I. 2013. Taxonomic revision of *Croton* section *Cleodora* (Euphorbiaceae). **Phytotaxa** 121: 1-41.
- Caruzo, M.B.R.; Silva, O.L.M.; Berry, P.E. & Cordeiro, I. 2014. Nomenclatural novelties in *Astraea* (Euphorbiaceae). **Phytotaxa** 159: 127-128.
- Cordeiro, I. 1989. Euphorbiaceae. Flora Fanerogâmica do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (São Paulo, Brasil). **Hoehnea** 16: 11-29.
- Cordeiro, I. 1992a. Euphorbiaceae. **Flora Fanerogâmica da Ilha do Cardoso (São Paulo, Brasil)** 3:141-160.
- Cordeiro, I. 1992b. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Euphorbiaceae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** 13:169-217.
- Cordeiro, I. 1993. **Revisão taxonômica de *Julocroton* Mart. (Euphorbiaceae)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Cordeiro, I. 1995. Euphorbiaceae. Pp. 300-317. In **Flora of the Pico das Almas** (B. L. Stannard, ed.). Kew, Royal Botanic Garden.
- Cordeiro, I. 2004. Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais: Euphorbiaceae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** 22: 109-131.
- Cordeiro, I.; Berry, P.E.; Caruzo, M.B.R. & Van Ee, B.W. 2008. *Croton laceratoglandulosus* (Euphorbiaceae s.s.), a new glandular-stipulate species from Brazil and Bolivia, and its systematic position based on molecular analysis. **Botanical Journal of the Linnean Society** 158: 493-498.
- Govaerts, R.; Frodin, D.G. & Radcliffe-Smith, A. 2000. **World Checklist and Bibliography of Euphorbiaceae (and Pandaceae), 2**. Kew, Royal Botanic Gardens.
- De-Paula, O.C.; Sajo, M.G.; Prenner, G.; Cordeiro, I. & Rudall, P.J. 2011. Morphology, development and homologies of the perianth and floral nectaries in *Croton* and *Astraea* (Euphorbiaceae-Malpighiales). **Plant Systematics and Evolution** 292: 1-14.
- Déda, R.M.; Lucena, M.F.A.; Carneiro-Torres, D.S. & Prata, A.P.N. 2013. Euphorbiaceae I: Crotoneae. Pp. 219-232. In: Prata, A.P.N.; Amaral, M.C.E.; Farias, M.C.V. & Alves, M.V. (Org.). **Flora de Sergipe. v. 1**. Aracajú, Gráfica e Editora Triunfo.
- Gomes, A.P.S. 2006. **Revisão das espécies sul-americanas de *Croton* L. subgen. *Croton* sect. *Argyroglossum* Baill. (Crotonoideae-Euphorbiaceae)**. Tese de doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil.
- Gomes, A.P.S.; Sales, M.F. & Berry, P.E. 2010. *Croton limae* (Euphorbiaceae), a new species of section *Argyroglossum* from northeastern Brazil. **Brittonia** 62: 206-209.
- Guimarães, L.A.C. & Secco, R.S. 2009. As espécies de *Croton* sect. *Cyclostigma* e *Croton* sect. *Luntia* subsect. *Matourense* (Euphorbiaceae s.s.) ocorrentes na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica** 40: 471-488.

- Klotzsch, J.F. 1841. Neue und weniger gekannte südamericanische Euphorbiaceen-Gattungen. **Archiv für Naturgeschichte** **7**: 175–204.
- Lima, L.R. & Pirani, J.R. 2003. O gênero *Croton* L. (Euphorbiaceae) na Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo** **21**: 299–344.
- Lima, L.R. & Pirani, J.R. 2008a. Revisão taxonômica de *Croton* sect. *Lamprocroton* (Müll. Arg.) Pax (Euphorbiaceae s.s.). **Biota Neotropica** **8**: 21–75.
- Lima, L.R. & Pirani, J.R. 2008b. Three new species of *Croton* (Euphorbiaceae) from Brazil. **Kew Bulletin** **63**: 121–129.
- Lyra-Lemos, R.P.L.; Mota, M.C.S.; Chagas, E.C.O. & Silva, F.C. 2010. **Checklist-Flora de Alagoas: Angiospermas**. Maceió, Instituto do Meio Ambiente de Alagoas, Herbário MAC.
- Medeiros, D. 2007. ***Croton* sect. *Medea* (Klotzsch) Baill. no Sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Medeiros, D.; Senna-Valle, L. & Alves, R.J.V. 2002. Espécie nova de *Croton* L. (Euphorbiaceae) do estado de Minas Gerais, Brasil. **Bradea** **8**: 299–302.
- Medeiros, D.; Senna-Valle, L. & Alves, R.J.V. 2009. Two new species of *Croton* L. (Euphorbiaceae) from campos rupestres of Minas Gerais State, Brazil. **The Journal of the Torrey Botanical Society** **136**: 186–191.
- Müller, J. 1866. Euphorbiaceae. Pp. 1–1286. In: Candolle, A.L.P.P. De (ed.). **Prodromus Systematics Universalis Regni Vegetabilis** **15(2)**. Victor Masson, Paris.
- Müller, J. 1873. Euphorbiaceae. Pp. 1–292, tab. 1–42. In: C. F. P. Martius & A. G. Eichler (Eds.). **Flora Brasiliensis** **11(2)**.
- Oliveira, A.S. & Senna-Valle, L. 1989. Euphorbiaceae Juss. Espécies ocorrentes nas restingas do estado do Rio de Janeiro. **Acta Botanica Brasilica** **3**: 131–139.
- Radcliffe-Smith, A. 2001. **Genera Euphorbiacearum**. Kew, Royal Botanic Gardens.
- Riina, R. 2006. **Molecular Systematics of the Neotropical Dragon's Blood trees *Croton* sect. *Cyclostigma* (Euphorbiaceae)**. PhD thesis. University of Wisconsin-Madison, USA.
- Riina, R. & Berry, P.E. 2011. *Croton maasii* (Euphorbiaceae), a new species from the western Amazon region. **Blumea** **56**: 146–148.
- Riina, R.; Berry, P.E. & Van Ee, B.W. 2009. Molecular phylogenetics of the dragon's blood *Croton* section *Cyclostigma* (Euphorbiaceae): a polyphyletic assemblage unraveled. **Systematic Botany** **34**: 360–374.
- Riina, R.; Van Ee, B.W.; Wiedenhoft, A.C.; Cardozo, A. & Berry, P.E. 2010. Sectional rearrangement of arborescent clades of *Croton* (Euphorbiaceae) in South America: Evolution of arillate seeds and a new species, *Croton domatifer*. **Taxon** **59**: 1147–1160.
- Riina, R.; Carneiro-Torres, D.; Peirson, J.A.; Berry, P.E. & Cordeiro, I. 2014. Further support for the Crotonae phylogeny: A new species of *Brasiliocroton* (Euphorbiaceae) based on morphological, geographical, and molecular evidence. **Systematic Botany** **39**: 227–234.
- Secco, R.S. 1985. Notas sobre o novo conceito de *Sagotia racemosa* Baill. (Euphorbiaceae) em relação às suas variedades. **Acta Amazonica, suplemento**, **15**: 81–85.
- Secco, R.S. 1987. Aspectos sistemáticos e evolutivos do gênero *Sandwithia* Lanj. (Euphorbiaceae) em relação às suas afinidades. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica** **3**: 157–181.
- Secco, R.S. 1988. Dialissepalia no gênero *Sandwithia* Lanj. (Euphorbiaceae): uma novidade botânica do Alto Rio Negro e da Venezuela. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica** **4**: 177–185.
- Secco, R.S. 1990. **Revisão dos gêneros *Anomalocalyx*, *Dodecastigma*, *Pausandra*, *Pogonophora* e *Sagotia* para a América do Sul**. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Adolpho Ducke.
- Secco, R.S. 1993. Notas sobre as lianas do gênero *Croton* (Euphorbiaceae). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi** **8**: 265–281.
- Secco, R.S. & Cordeiro, I. 2002. Notas sobre a primeira ocorrência de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi** **18**: 195–201.

- Secco, R.S. 2004. *Croton dissectistipulatus*, a new species of Euphorbiaceae from Amazonian Brazil. **Brittonia** **56**: 353-356.
- Secco, R.S. 2008. **Sinopse das espécies de *Croton* L. (Euphorbiaceae) na Amazônia brasileira: um ensaio taxonômico**. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Adolpho Ducke.
- Secco, R.S. 2009. Uma nova espécie de *Croton* sect. *Geiseleria* (Euphorbiaceae) da Amazônia oriental brasileira. **Revista Brasileira de Botânica** **32**: 249-252.
- Secco, R.S.; Berry, P.E. & Rosa, N.A. 2001. *Croton trombetensis* and *Croton diasii*: two new Euphorbiaceae from Amazonian Brazil. **Novon** **11**:119-123.
- Secco, R.S.; Berry, P.E. & Rosário, C.S. 2005. A new species of *Croton* sect. *Luntia* (Euphorbiaceae) from Western Amazonian Brazil. **Novon** **15**: 583-585.
- Secco, R.S. & Berry, P.E. 2010. *Croton borbensis*, a new species of Euphorbiaceae from white sands of Amazonian Brazil. **Brittonia** **62**: 116-119.
- Secco, R.S.; Rosário, A.S. & Berry, P.E. 2012. *Croton campinarenis* (Euphorbiaceae), a new species from eastern Amazonian. **Phytotaxa** **49**: 1-5.
- Silva, J.S.; Sales, M.F.; Gomes, A.P.S. & Carneiro-Torres, D.S. 2010. Sinopse das espécies de *Croton* L. (Euphorbiaceae) no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **24**: 441-453.
- Silva, M.J.; Sodré, R.C. & Sales, M.F. 2014. A new species of *Croton* L. (Euphorbiaceae s.s.) from the Brazilian cerrado. **Systematic Botany** **39**: 216-221.
- Smith, L.B. & Downs, R.J. 1959. Resumo preliminar das Euforbi ceas de Santa Catarina. **Sellowia** **11**: 155-231.
- Smith, L.B., Downs, R.J. & Klein, R.M. 1988. Euforbi ceas. Pp. 62-137. In **Flora Ilustrada Catarinense** (R. Reitz, ed.).
- Sodr , R.C.; Silva, M.J.; Sales, M.F. 2014. *Croton* L. (Euphorbiaceae) no Parque Estadual da Serra Dourada, Goiás, Brasil. **Rodriguésia** **65**: 221-234.
- Tokuoka, T. 2007. Molecular phylogenetic analysis of Euphorbiaceae sensu stricto based on plastid and nuclear DNA sequences and ovule and seed character evolution. **Journal of Plant Research** **120**: 511-522.
- Van Ee, B.W. 2011. The contribution of Johann Friedrich Klotzsch to the taxonomy of *Croton* (Euphorbiaceae) and associated genera. **Willdenowia** **41**: 15-33.
- Van Ee, B.W. & Berry, P.E. 2009. A phylogenetic and taxonomic review of *Croton* (Euphorbiaceae s.s.) on Jamaica including the description of *Croton jamaicensis*, a new species of section *Eluteria*. **Systematic Botany** **34**: 129-140.
- Van Ee, B.W. & Berry, P.E. 2010. Taxonomy and phylogeny of *Croton* section *Heptallon* (Euphorbiaceae). **Systematic Botany** **35**: 151-167.
- Van Ee, B.W. & Berry P.E. 2011. *Croton* section *Pedicellati* (Euphorbiaceae), a novel new world group, and a new subsectional classification of *Croton* section *Lamprocroton*. **Systematic Botany** **36**: 88-98.
- Van Ee, B.W.; Riina, R. & Berry, P.E. 2011. A revised infrageneric classification and molecular phylogeny of New World *Croton* (Euphorbiaceae). **Taxon** **60**: 1-33.
- Webster, G. L. 1993. A provisional synopsis of the sections of the genus *Croton* (Euphorbiaceae). **Taxon** **42**: 793-823.
- Webster, G.L. 1994. Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. **Annals of Missouri Botanical Garden** **81**: 33-144.
- Wurdack, K.J.; Hoffmann, P. & Chase, M.W. 2005. Molecular phylogenetic analysis of uniovulate Euphorbiaceae (Euphorbiaceae sensu stricto) using plastid rbcL and trnL-F sequences. **American Journal of Botany** **92**: 1397-1420.
- Wurdack, K.J. & Davis, C.C. 2009. Malpighiales phylogenetics: gaining ground on one of the most recalcitrant clades in the angiosperm tree of life. **American Journal of Botany** **96**: 1551-1570.



# CROTONEAE (EUPHORBIACEAE) NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

**Ricardo de S. Secco**

Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Brasil.

[rsecco@museu-goeldi.br](mailto:rsecco@museu-goeldi.br)

A partir da década de 80 houve um grande incremento nos estudos taxonômicos em Euphorbiaceae na região amazônica, especialmente envolvendo a subfamília Crotonoideae (*sensu* Webster 1994), tribo Crotoneae, iniciando-se com os trabalhos de Secco (1985, 1990a), discutindo as variedades de *Sagotia racemosa* Baill., elevando *S. racemosa* var. *brachysepala* a *S. brachysepala* (Müll. Arg.) Secco. Em seguida, Secco (1987) tratou dos aspectos sistemáticos e evolutivos de *Sandwithia* Lanj., comparando-o com *Sagotia* Baill. e *Anomalocalyx* Ducke, e Secco (1988) propôs a segunda espécie de *Sandwithia*, *S. heterocalyx* Secco, um táxon incomum por apresentar cálice da flor pistilada livre, opondo-se ao padrão do gênero. Os padrões de distribuição geográfica e novos aspectos taxonômicos de alguns representantes de Crotoneae foram tratados em Secco (1990b).

Em relação a *Croton* L., Secco (1993) descreveu algumas espécies de hábito lianescente, comparando-as com *C. pullei* Lanj., prosseguindo a discussão dos aspectos palinológicos em Carreira *et al.* (1996). Seguiu-se a proposição de diversas novidades taxonômicas para o gênero, tais como *C. diasii* Pires ex Secco & P.E.Berry e *C. trombetensis* Secco, P.E.Berry & N. Rosa (Secco *et al.* 2001), *C. dissectistipulatus* Secco (Secco 2004a), espécie incomum por apresentar apenas três estames, *Croton faroensis* Secco (2004b), *C. subasperrimus* Secco, P. Berry & C. Rosário (Secco *et al.* 2005b), *Croton strobiliformis* Secco (Secco 2009), espécie incluída em *Croton* sect. *Geiseleria* (A. Gray) Baill., coletada no entorno da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Pará, *C. borbensis* Secco & P.E. Berry (Secco & Berry 2010) e *Croton campinarense* Secco, Rosário & Berry (Secco *et al.* 2012). Interessante salientar que *C. borbensis*, *C. dissectistipulatus* e *C. faroensis* pertencem a *Croton* sect. *Barhamia* subsect. *Medea* (Klotzsch) Pax. Secco & Cordeiro (2002) assinalaram a primeira ocorrência de *Croton urucurana* Baill. na Amazônia brasileira. Foi realizado um tratamento para as espécies de Euphorbiaceae da Reserva Ducke, em Manaus, incluindo algumas da tribo Crotoneae (Secco 2005a). Secco (2008) apresentou um tratamento para 42 espécies de *Croton* distribuídas na Amazônia, complementando os estudos de Müller (1873), com novas ocorrências para alguns estados da região, tais como *Croton gossipiifolius* Vahl, *Croton nervosus* Kl., *Croton sampatik* Muell.Arg., *C. guianensis* Aublet, *C. spiraeifolius* Jabl., *C. urucurana* Baill., *C. draconoides* Muell.Arg., *C. mollis* Benth., *C. tessmannii* Mansf. e *C. schiedianus* Schl. Guimarães & Secco (2009) fizeram uma atualização das espécies de *Croton* sect. *Cyclostigma* e *Croton* sect. *Luntia* subsect. *Matourense* (Euphorbiaceae s.s.) ocorrentes na Amazônia brasileira, incluindo *Croton urucurana*, *C. draconoides* Muell.Arg., *C. trombetensis*, *C. sampatik* Muell.Arg., *C. palanostigma* Kl., *C. pullei* Lanj. e *C. matourensis* Aublet. Secco & Berry (2013) informaram novidades sobre a morfologia floral e a primeira ocorrência na Amazônia de *C. pycnadenius* Müll. Arg., espécie típica de *Croton* sect. *Geiseleria*, apesar de não apresentar o cálice da flor pistilada com as sépalas desiguais, e incluída no “grupo agoensis”, ao lado de *C. agoensis* Baill. e *C. mucronifolius* Müll. Arg.

## Referências

- Carreira, L.M.M.; Secco, R.S. & Barth, O.M. 1996. Polen morphology of lianescent species of the genus *Croton* (Euphorbiaceae). **Grana** 35: 74-78.
- Guimarães, L.A.C. & Secco, R.S. 2009. As espécies de *Croton* sect. *Cyclostigma* e *Croton* sect. *Luntia* subsect. *Matourense* (Euphorbiaceae s.s.) ocorrentes na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica** 40(3): 471-488.
- Müller, J. 1873. Euphorbiaceae. In: C. F. P. Martius & A. G. Eichler (Eds.), **Flora Brasiliensis** 11(2): 1-292, tab. 1-42.
- Secco, R.S. 1985. Notas sobre o novo conceito de *Sagotia racemosa* Baill. (Euphorbiaceae) em relação às suas variedades. **Acta Amazonica**, suplemento, 15(1-2): 81-85.
- Secco, R.S. 1987. Aspectos sistemáticos e evolutivos do gênero *Sandwithia* Lanj. (Euphorbiaceae) em relação às suas afinidades. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, série Botânica 3(2): 157-181.
- Secco, R.S. 1988. Dialissepalia no gênero *Sandwithia* Lanj. (Euphorbiaceae): uma novidade botânica do Alto Rio Negro e da Venezuela. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, série Botânica 4: 177-185.
- Secco, R.S. 1990a. **Revisão dos gêneros *Anomalocalyx*, *Dodecastigma*, *Pausandra*, *Pogonophora* e *Sagotia* para a América do Sul**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Adolpho Ducke, 133 p., il.
- Secco, R.S. 1990b. Padrões de distribuição geográfica e relações taxonômicas de algumas Crotonoideae (Euphorbiaceae) da Amazônia. **Acta Botanica Brasilica** 4(1): 91-103
- Secco, R.S. 1993. Notas sobre as lianas do gênero *Croton* (Euphorbiaceae). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, 8(2): 265-281.
- Secco, R.S., Berry, P.E. & Rosa, N.A. 2001. *Croton trombetensis* and *Croton diasii*: two new Euphorbiaceae from Amazonian Brazil. **Novon** 11:119-123.
- Secco, R.S. & Cordeiro, I. 2002. Notas sobre a primeira ocorrência de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi** 18(1): 195-201.
- Secco, R.S. 2004a. *Croton dissectistipulatus*, a new species of Euphorbiaceae from Amazonian Brazil. **Brittonia** 56(4): 353-356.
- Secco, R.S. 2004b. *Croton faroensis*, uma nova Euphorbiaceae da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Botânica* 27(2): 333-335.
- Secco, R.S. 2005a. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil. Euphorbiaceae- Parte I. **Rodriguesia** 56(86): 143-168.
- Secco, R.S. , Berry, P.E. & Rosário, C.S. 2005b. A new species of *Croton* sect. *Luntia* (Euphorbiaceae) from Western Amazonian Brazil. **Novon** 15 (4): 583-585.
- Secco, R.S. 2008b. **Sinopse das espécies de *Croton* L. (Euphorbiaceae) na Amazônia brasileira: um ensaio taxonômico**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Adolpho Ducke, 169p.
- Secco, R.S. 2009. Uma nova espécie de *Croton* sect. *Geiseleria* (Euphorbiaceae) da Amazônia oriental brasileira. **Revista Brasileira de Botânica** 32(2): 249-252.
- Secco, R.S. & Berry, P.E. 2010. *Croton borbensis*, a new species of Euphorbiaceae from white sands of Amazonian Brazil. **Brittonia** 62: 116-119.
- Secco, R.S.; Rosário, A.S. & Berry, P.E. 2012. *Croton campinarenis* (Euphorbiaceae), a new species from eastern Amazonian. **Phytotaxa** 49: 1-5.
- Secco, R.S. & P.E. Berry. 2013. Novidades sobre a morfologia floral e distribuição geográfica de *Croton pycnadenius* Müll. Arg. (Euphorbiaceae s.s.). **Revista Brasileira de Biociências** 11(3): 297-300.
- Webster, G.L. 1994. Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. **Annals of Missouri Botanical Garden** 81(1): 33-144.

# FLAVONOIDES NO SUBPRODUTO DA VINIFICAÇÃO: COMPLEXIDADE E IMPORTÂNCIA

**Ismael Ivan Rockenbach**

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

[ismael.rockenbach@gmail.com](mailto:ismael.rockenbach@gmail.com)

Os subprodutos da vinificação são caracterizados como sendo o bagaço (principal subproduto da vinificação), as sementes, o folhelho (conjunto constituído essencialmente pelas cascas, após desidratação e separação das sementes e engaços, bem como pequenos fragmentos de engaço), o engaço (matéria prima mais pobre e de valorização mais simples), as borras (resíduos que ficam depositados nos recipientes que contenham vinho após a fermentação, armazenagem, filtração ou centrifugação) e o sarro (resíduos deixados pelos vinhos nas paredes dos recipientes que os contêm, formando um revestimento bastante duro) (Silva 2003).

O bagaço (Figura 1) é originado da prensagem das matérias-primas da vinificação constituídas pelas partes sólidas das uvas e pelo mosto, ou pelo conjunto mosto/vinho que as embebe. O bagaço, como subproduto da prensagem, representa de 12 a 15% em peso da matéria-prima inicial, contendo na sua composição restos de açúcares e outros glicídeos, proteínas e, nas sementes, um elevado teor de lipídeos (Silva 2003).



**Figura 1.** O bagaço da vinificação.

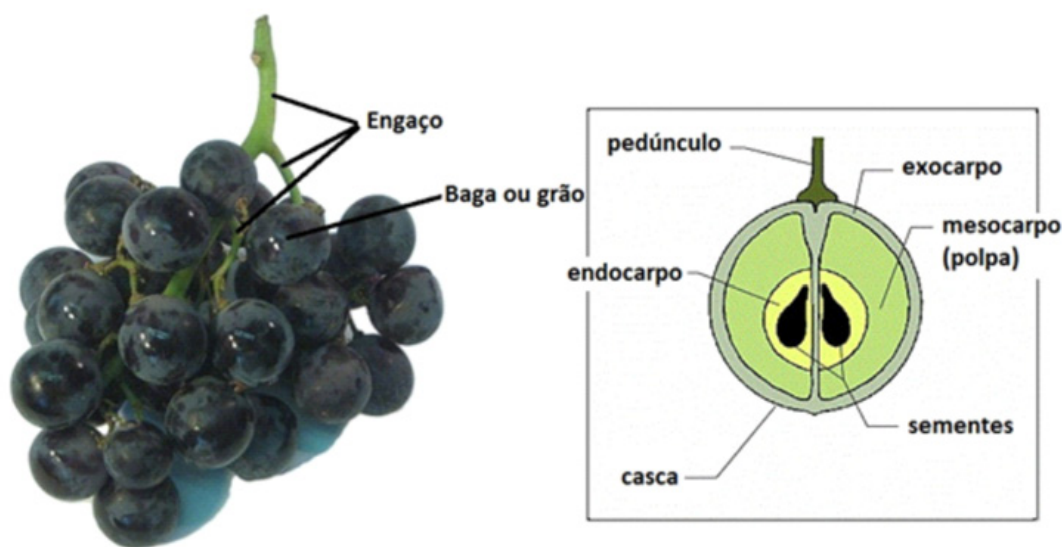
Produtores e indústrias da área vinícola enfrentam o problema de descarte da biomassa residual, que, embora seja biodegradável, necessita de um tempo mínimo para ser mineralizada, constituindo-se em fonte de poluentes ambientais. Dados da indústria mostram que para 100 L de vinho branco produzidos geram-se 31,7 kg de subprodutos, dos quais 20 kg são de bagaço (Campos 2005).

Assim, a busca de alternativas para a utilização da matéria orgânica gerada nas vinícolas vem crescendo dentro de vários centros de pesquisa. O interesse crescente na exploração dos subprodutos gerados pela indústria do vinho deve-se, em grande parte, ao elevado conteúdo de polifenóis encontrado nestes subprodutos (Alonso *et al.* 2002; Negro *et al.* 2003; González-Paramás *et al.* 2004; Kammerer *et al.* 2004). Os compostos fenólicos presentes nas uvas passam para o vinho, mais ou menos, dependendo das características do processo de vinificação. Mas, independentemente desta transferência, e considerando que a maior parte destes compostos é encontrada nas partes sólidas da uva, uma grande proporção permanece nos subprodutos da vinificação (Alonso *et al.* 2002).

Os compostos fenólicos presentes nas uvas incluem ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas e proantocianidinas (Lu & Foo 1999). Estes constituintes podem ser divididos em dois grupos: não flavonoides (ácidos hidroxibenzóicos e hidroxicinâmicos, e estilbenos) e flavonoides (antocianinas, compostos flavan-3-ols e flavonóis). As antocianinas são a família de compostos fenólicos diretamente responsáveis pela cor das uvas e dos vinhos. Os compostos flavan-3-ols (catequinas monoméricas e proantocianidinas) são outra grande família de compostos fenólicos e são responsáveis principalmente pela adstringência, amargor e estrutura dos vinhos. Os flavonóis (quercetina, miricetina, campferol, isorhamnetina e seus glicosídeos) também contribuem para o amargor (Montealegre *et al.* 2006).

Na uva (Figura 2), os compostos fenólicos estão presentes principalmente nas cascas e nas sementes, com quantidades bem menores na polpa. Os flavonóis são os compostos mais abundantes nas cascas, enquanto que as sementes são ricas em flavan-3-ols (Montealegre *et al.* 2006). Kammerer *et al.* (2004) caracterizaram os compostos fenólicos de 14 diferentes amostras de bagaço de uva, sendo identificados 13 tipos de antocianinas, 11 ácidos fenólicos, 13 catequinas e flavonóis e 2 estilbenos.

As antocianinas extraídas dos subprodutos da vinificação, conhecidas como “enocianinas”, têm sido comercializadas desde 1879, e, há alguns anos, tem emergido dentro da indústria do vinho outro comércio bastante viável e oportuno. Esta indústria produz extratos de casca e de semente de uva que têm encontrado diversas aplicações como antioxidantes naturais em alimentos ou suplementos dietéticos para a prevenção de doenças (Alonso *et al.* 2002).



**Figura 2.** Estrutura básica do cacho de uva.

Extratos dos subprodutos da vinificação são utilizados como combinações de substâncias ativas também para composições cosméticas e farmacêuticas. Estas composições são utilizadas na elaboração de produtos para a pele e cabelo, tratamento de hemorroidas, ou para redução de triglicerídeos plasmáticos, agregação plaquetária e capacidade oxidativa. Além disso, uma solução conservante para frutas e vegetais sem casca, sucos e flores cortadas foi patenteada, incluindo flavonoides provenientes do óleo de semente de uva (Alonso *et al.* 2002).

Extratos de semente de uva contêm uma mistura heterogênea de monômeros, oligômeros e polímeros formados por subunidades de compostos flavan-3-ols (González-Paramás *et al.* 2004), como, por exemplo, (+)-catequina, (-)-epicatequina e (-)-epicatequina-3-o-galato (Jayaprakasha *et al.* 2001). No estudo realizado por González-Paramás *et al.* (2004), o conteúdo total de flavanóis no bagaço de diferentes variedades de uva apresentou grande variação entre as amostras, com valores variando de 29 a 199 mg/100 g em base seca, bem como nas sementes separadas a partir destes bagaços, com valores variando de 136 a 719 mg/100 g em base seca.

Em estudo realizado por Makris *et al.* (2007), foram determinados os teores de compostos fenólicos em extratos obtidos de subprodutos da vinificação e de outros subprodutos agroindustriais. Os teores de fenólicos totais em sementes de uva branca (11108 mg equivalente a ácido gálico (GAE)/100 g em base seca) e tinta (10330 mg GAE/100 g em base seca) foram bastante superiores aos teores observados em folhas de oliveira, cascas de maçã, de cebola e de batata.

Flavonoides e compostos fenólicos em geral exercem, como já é de amplo conhecimento, expressiva atividade antioxidante em sistemas biológicos. Para estimar a capacidade inibitória destes compostos frente a espécies reativas, frequentemente são reportados na literatura dados de correlação entre atividade antioxidante e concentração de compostos fenólicos (Scalzo *et al.* 2005; Deepa *et al.* 2007). As amostras avaliadas podem incluir diferentes genótipos, amostras em diferentes estágios de maturação, ou até amostras expostas a diferentes condições de armazenamento após a colheita (Jacobó-Velázquez & Cisneros-Zevallos 2009).

A atividade antioxidante de um composto fenólico está relacionada com o número de grupos hidroxila disponíveis presentes na estrutura química (Rice-Evans *et al.* 1996). Assim, a maneira pela qual este composto vai desativar os radicais livres vai depender da sua concentração relativa na matriz da amostra. Além disso, os compostos fenólicos podem atuar de forma sinérgica (Cirico & Omaye 2006), aditiva (Heo *et al.* 2007), ou antagonística (Peyrat-Maillard *et al.* 2003) para desativar espécies reativas.

No caso dos flavonoides, que possuem um esqueleto difenilpropano, sua eficiência como desativadores de radicais livres parece depender principalmente do número de grupos hidroxila e sua posição na molécula. O potencial antioxidante é relacionado à estrutura em termos de rearranjo de elétrons no núcleo aromático. Por exemplo, o ângulo de torção do anel B em relação ao restante da molécula em flavonas e flavanonas comparado a um arranjo planar em flavonóis e flavanóis com um 3-OH sugere que a conformação planar favorece a conjugação, o rearranjo de elétrons, e um aumento na estabilidade do radical fenoxil (Van Acker *et al.* 1996). Além disso, a presença de glicosilações na molécula pode diminuir sua atividade antioxidante. Em geral, os arranjos estruturais dos flavonoides são considerados os responsáveis por conferir maior atividade antioxidante (Rice-Evans *et al.* 1996).

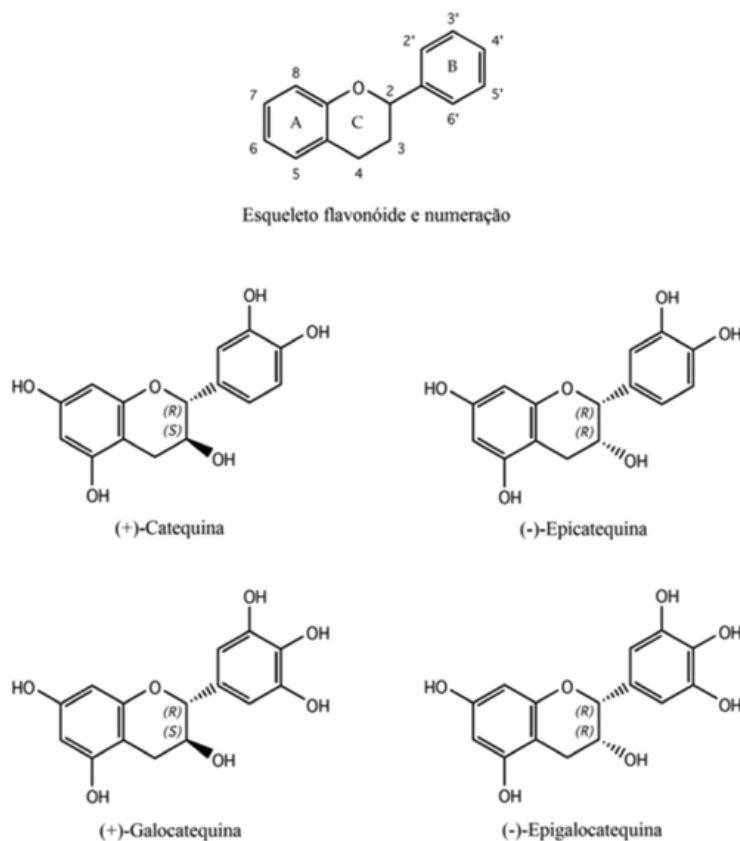
Os compostos fenólicos poliméricos são antioxidantes mais potentes em comparação com os fenólicos monoméricos. Hagerman *et al.* (1998) demonstraram que os taninos condensados e hidrolisáveis possuem maior habilidade antioxidante na complexação de radicais peroxila do que fenólicos simples. Yamaguchi *et al.* (1999) observaram que quanto maior é o grau de polimerização dos flavanóis, maior é a atividade de neutralização do radical superóxido. Um efeito similar foi observado para a capacidade de inibição do radical O<sub>2</sub><sup>-</sup>, que aumentou com a elevação do grau de polimerização de proantocianidinas (Saint-Cricq de Gaulejac *et al.* 1999), ou para a maior inibição da peroxidação lipídica por dímeros de ácido ferúlico do que pelo próprio ácido ferúlico (García-Conesa *et al.* 1999).

Sánchez-Alonso *et al.* (2008) realizaram um estudo na Espanha com subprodutos da vinificação e observaram alta atividade antioxidante e capacidade destes de inibir significativamente o desenvolvimento da rancidez em músculo de peixe congelado a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Há também um interesse crescente na utilização de extratos vegetais como antimicrobianos naturais para a substituição dos aditivos sintéticos empregados na prevenção contra a deterioração microbiana em alimentos, uma vez que os extratos vegetais podem apresentar tanto atividade antioxidante quanto antimicrobiana (Jayaprakasha *et al.* 2003).

Yilmaz & Toledo (2004) obtiveram valores maiores de atividade antioxidante no ensaio ORAC para extratos de semente de uva do que para extratos de casca de uva. Estes autores calcularam a contribuição dos compostos identificados nos extratos e sua concentração e atividade antioxidante como compostos puros de ácido gálico, catequina e epicatequina para a atividade antioxidante total das amostras. Estes três últimos compostos contribuíram em menos de 26% para os valores de ORAC nos extratos de semente e casca de uva. Assim, os autores concluíram que a elevada atividade antioxidante das cascas e sementes de uva estava relacionada principalmente à presença de proantocianidinas poliméricas em adição aos monômeros identificados.

As proantocianidinas são oligômeros e polímeros dos compostos flavan-3-ols (+)-catequina, (+)-galocatequina, (-)-epicatequina e (-)-epigalocatequina (Figura 3). Outros monômeros podem ser encontrados raramente (Zimmermann 2005).

Os monômeros das proantocianidinas são ligados principalmente por ligações C4-C8, embora ligações C4-C6 também podem ocorrer. Ambas as estruturas são definidas como proantocianidinas tipo B. As proantocianidinas do tipo B podem ocorrer esterificadas com ácido gálico, formando 3-O-galatos através das unidades de (-)-epicatequina. Em adição às ligações C4-C8, as unidades de com-



**Figura 3.** Monômeros das proantocianidinas.

postos flavan-3-ols também podem estar duplamente ligadas por uma ligação éter C2-C7, dando origem às estruturas de proantocianidinas tipo A, resultantes de uma reação oxidativa intramolecular (Passos *et al.* 2007).

Em sementes de uva, as proantocianidinas representam, em geral, a maior parte do extrato polifenólico total, e sua extrema complexidade é resultado do grande número de compostos diferentes com estruturas muito similares (De Freitas *et al.* 1998). As proantocianidinas em uvas e vinhos têm sido associadas ao fenômeno chamado de “Paradoxo Francês”. Muitos outros efeitos benéficos para a saúde, como efeitos antioxidantes, anticarcinogênicos e antiinflamatórios, têm sido descritos para as proantocianidinas de semente de uva (Gu *et al.* 2003). Proantocianidinas de semente de uva foram associadas à indução de apoptose e inibição de metástase em cultura de células de câncer de mama e cólon (Mantena *et al.* 2006). Em outro estudo, um extrato etanólico de farinha de semente de uva da variedade Chardonnay não apenas suprimiu a peroxidação lipídica em geral de óleo de peixe, mas também protegeu os ácidos eicosapentaenóico (EPA) e docosahexaenóico (DHA), os mais bioativos ácidos graxos n-3, contra a perda oxidativa (Luther *et al.* 2007).

Uma vez que uma quantidade substancial de proantocianidinas presentes nas frutas, incluindo as uvas, está em uma forma não prontamente disponível para absorção, torna-se importante a investigação do teor de proantocianidinas presentes nas suas sementes e no bagaço em relação à presença de monômeros e polímeros (Khanal *et al.* 2009). Considerando as proantocianidinas, oligômeros de cadeia curta têm sido isolados e bem caracterizados por longo tempo, enquanto que oligômeros de cadeia longa e polímeros, que constituem uma grande proporção das proantocianidinas em plantas, foram estudados e isolados parcialmente apenas mais tarde (Sun & Spranger 2005).

Uma parte dos polifenóis do bagaço de uva representada por taninos condensados altamente polimerizados formam complexos com fibras e não podem ser extraídos, a menos que sejam aplicados tratamentos com ácidos fortes (Arranz *et al.* 2010). Proantocianidinas monoméricas e oligoméricas são certamente solúveis nos solventes orgânicos usualmente empregados para a extração de polifenóis, mas uma grande proporção de proantocianidinas de alto peso molecular e polifenóis complexados com proteínas ou polissacarídeos de parede celular permanece insolúvel (Huemmer & Schereier 2008). A quantificação de polifenóis não extraíveis no bagaço da uva necessita de hidrólise do material residual para liberar os fenólicos ligados às paredes celulares e proteínas após a extração da fração de polifenóis solúveis (Ignat *et al.* 2011). O conteúdo de polifenóis não extraíveis pode atingir valores de 67 mg/g em base seca no bagaço de uvas tintas (variedade Cencibel) e 1,68 mg/g em base seca no bagaço de uvas brancas (variedade Thompson, sem sementes) (Pérez-Jiménez *et al.* 2009). Alguns métodos de processamento de alimentos como a extrusão aumentam a fração de polifenóis extraíveis e biodisponíveis (catequina e epicatequina) e reduzem a fração de polifenóis não extraíveis pela redução do grau de polimerização destes compostos (Khanal *et al.* 2009). Estes estudos sugerem que o processamento térmico pode aumentar a capacidade de extração e a biodisponibilidade de alguns polifenóis ao mesmo tempo em que destrói os polifenóis sensíveis ao calor presentes nas cascas e sementes de uva.

## Referências

- Alonso, A.M.; Guillén, D.A.; Barroso, C.G.; Puertas, B. & García, A. 2002. Determination of antioxidant activity of wine by-products and its correlation with polyphenolic content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** **50**: 5832-5836.
- Arranz, S.; Silván, J.M. & Saura-Calixto, F. 2010. Non extractable polyphenols, usually ignored, are the major part of dietary polyphenols: a study on the Spanish diet. **Molecular Nutrition and Food Research** **54**: 1-13.
- Campos, L. 2005. **Obtenção de extratos de bagaço de uva Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*): Parâmetros de processo e modelagem matemática**. Florianópolis, 2005. Tese de mestrado em Engenharia de Alimentos - Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

- Cirico, T.L. & Omaye, S.T. 2006. Additive or synergetic effects of phenolic compounds on human low-density lipoprotein oxidation. **Food and Chemical Toxicology** **44**(4): 510-516.
- Deepa, N.; Kaur, C.; George, B.; Singh, B. & Kapoor, H.C. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. **LWT - Food Science and Technology** **40**(1): 121-129.
- De Freitas, V.A.P.; Glories, Y.; Bourgeois, G. & Vitry, C. 1998. Characterisation of oligomeric and polymeric procyanidins from grape seeds by liquid secondary ion mass spectrometry. **Phytochemistry** **49**(5): 1435-1441.
- García-Conesa, M.T.; Wilson, P.D.; Plumb, G.W.; Ralph, J. & Williamson, G. 1999. Antioxidant properties of 4,4'-dihydroxy-3,3'-dimethoxy-beta, beta'-bicinnamic acid [8-8-diferulic acid, non cyclic form]. **Journal of the Science of Food and Agriculture** **79**: 379-384.
- González-Paramás, A.M.; Esteban-Ruano, S.; Santos-Buelga, C.; Pascual-Teresa, S. & Rivas-Gonzalo, J.C. 2004. Flavanol content and antioxidant activity in winery byproducts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** **52**: 234-238.
- Gu, L.; Kelm, M.A.; Hammerstone, J.F.; Beecher, G.; Holden, J.; Haytowitz, D. & Prior, R.L. 2003. Screening of foods containing proanthocyanidins and their structural characterization using LC-MS/MS and thiolytic degradation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** **51**: 7513-7521.
- Hagerman, A.E.; Riedl, K.M.; Jones, G.A.; Sovik, K.N.; Ritchard, N.T.; Hartzfeld, P.W. & Riechel, T.L. 1998. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** **46**: 1887-1892.
- Heo, H.J.; Kim, Y.J.; Chung, D. & Kim, D-O. 2007. Antioxidant capacities of individual and combined phenolics in a model system. **Food Chemistry** **104**(1):87-92.
- Huemmer, W. & Schreier, P. 2008. Analysis of proanthocyanidins. **Molecular Nutrition Research** **52**: 1381-1398.
- Ignat, I.; Volf, I. & Popa, V.I. 2011. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. **Food Chemistry** **126**: 1821-1835.
- Jacobo-Velázquez, D.A. & Cisneros-Zevallos, L. 2009. Correlations of antioxidant activity against phenolic content revisited: A new approach in data analysis for food and medicinal plants. **Journal of Food Science** **74**(9):R107-113.
- Jayaprakasha, G.K.; Singh, R.P. & Sakariah, K.K. 2001. Antioxidant activity of grape seed (*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models in vitro. **Food Chemistry** **73**: 285-290.
- Jayaprakasha, G.K.; Selvi, T. & Sakariah, K.K. 2003. Antibacterial and antioxidant activities of grape (*Vitis vinifera*) seed extracts. **Food Research International** **36**: 117-122.
- Kammerer, D.; Claus, A.; Carle, R. & Schieber, A. 2004. Polyphenol screening of pomace from red and white grape varieties (*Vitis vinifera* L.) by HPLC-DAD-MS/MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** **52**: 4360-4367.
- Khanal, R.C.; Howard, L.R. & Prior, R.L. 2009. Procyanidin content of grape seed and pomace, and total anthocyanin content of grape pomace as affected by extrusion processing. **Journal of Food Science** **74**(6): H174-H182.
- Lu, Y. & Foo, L.Y. 1999. The polyphenol constituents of grape pomace. **Food Chemistry** **65**: 1-8.
- Luther, M.; Parry, J.; Moore, J.; Meng, J.; Zhang, Y.; Cheng, Z. & Yu, L. 2007. Inhibitory effect of Chardonnay and black raspberry seed extracts on lipid oxidation in fish oil and their radical scavenging and antimicrobial properties. **Food Chemistry** **104**: 1065-1073.
- Makris, D.P.; Boskou, G. & Andrikopoulos, N.K. 2007. Polyphenolic content and in vitro antioxidant characteristics of wine industry and other agri-food solid waste extracts. **Journal of Food Composition and Analysis** **20**: 125-132.
- Mantena, S.K.; Baliga, M.S. & Katiyar, S.K. 2006. Grape seed Proanthocyanidins induce apoptosis and inhibit metastasis of highly metastatic breast carcinoma cells. **Carcinogenesis** **24**(8): 1682-1691.
- Montealegre, R.R.; Peces, R.R.; Vozmediano, J.L.C.; Gascueña, J.M. & Romero, E.G. 2006. Phenolic compounds in skins and seeds of ten grape *Vitis vinifera* varieties grown in a warm climate. **Journal of Food Composition and Analysis** **19**: 687-693.



- Negro, C.; Tommasi, L. & Miceli, A. 2003. Phenolic compounds and antioxidant activity from red grape marc extracts. **Bioresource Technology** **87**: 41–44.
- Passos, C.P.; Cardoso, S.M.; Domingues, M.R.M.; Domingues, P.; Silva, C.M. & Coimbra, M.A. 2007. Evidence for galloylated type-A procyanidins in grape seeds. **Food Chemistry** **105**: 1457–1467.
- Pérez-Jiménez, J.; Arranz, S. & Saura-Calixto, F. 2009. Proanthocyanidin content in foods is largely underestimated in the literature data: an approach to quantification of the missing proanthocyanidins. **Food Research International** **42**: 1381–1388.
- Peyrat-Maillard, M.N.; Cuvelier, M.E. & Berset, C. 2003. Antioxidant activity of phenolic compounds in 2,2'-azobis [2-amidinopropane] dihydrochloride (AAPH)-induced oxidation: Synergistic and antagonistic effects. **Journal of the American Oil Chemists' Society** **80**(10): 1007–1012.
- Rice-Evans, C.A.; Miller, N.J. & Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology and Medicine** **20**(7): 933–956.
- Saint-Cricq de Gaulejac, N.; Provost, C. & Vivas, N. 1999. Comparative study of polyphenol scavenging activities assessed by different methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** **47**: 425–431.
- Sánchez-Alonso, I.; Jiménez-Escrig, A.; Saura-Calixto, F. & Borderías, A.J. 2008. Antioxidant protection of white grape pomace on restructured fish products during frozen storage. **LWT – Food Science and Technology** **41**: 42–50.
- Scalzo, J.; Politi, A.; Pellegrini, N.; Mezzetti, B. & Battino, M. 2005. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. **Nutrition** **21**(2): 207–213.
- Silva, L.M.L.R. 2003. **Caracterização dos Subprodutos da Vinificação**. Revista do ISPV – nº 28. Outubro de 2003. Disponível em: ←<http://www.ipv.pt/millennium/Millennium28/10.pdf>→ Acesso em: 30 dezembro 2013.
- Sun, B. & Spranger, M.I. 2005. Review: Quantitative extraction and analysis of grape and wine proanthocyanidins and stilbenes. **Ciência e Técnica Vitivinícola** **20**(2): 59–89.
- Van Acker, S.A.B.E.; De Groot, M.J.; Van de Berg, D.-J.; Tromp, M.N.J.L.; Den Kelder, G.D.-O.; Van der Vijgh, W.J.F. & Bast, A. 1996. A quantum chemical explanation of the antioxidant activity of flavonoid. **Chemical Research in Toxicology** **9**(8): 1305–1312.
- Yamaguchi, F.; Yoshimura, Y.; Nakazawa, H. & Ariga, T. 1999. Free radical scavenging activity of grape seed extract and antioxidants by electron spin resonance spectrometry in an H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/NaOH/DMSO system. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** **47**: 2544–2548.
- Yılmaz, Y. & Toledo, R.T. 2004. Major flavonoids in grape seeds and skins: Antioxidant capacity of catechin, epicatechin, and gallic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** **52**: 255–260.
- Zimmermann, B.F. 2005. **Proanthocyanidins in barley and malt analyzed by pressurized liquid extraction, solid-phase extraction and HPLC**. 75f. Dissertation [Doktorgrades der Mathematik-Naturwissenschaft] - Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bonn, Bonn, Deutschland.



# FLAVONOIDES: ACTUALIDADES Y PERSPECTIVAS

**Javier Rincón Velandia**

Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Farmacia, Colombia.

[jrinconv@unal.edu.co](mailto:jrinconv@unal.edu.co)

Los flavonoides son metabolitos importantes en la vida cotidiana de los seres vivos, todos los días de una u otra manera consumimos o estamos en contacto con este tipo de compuestos originados desde moléculas naturales muy sencillas, que llegan a generar estructuras complejas con diversos efectos biológicos muy interesantes. Históricamente se ha reconocido su importancia en la ecología bioquímica y en la interacción con el medio ambiente y otros seres vivos.

Los flavonoides son responsables de múltiples procesos biológicos y siempre se ha investigado intentando aumentar el conocimiento de su función en sistemas naturales y como esto puede ser importante para que tengan utilidad en la vida cotidiana de los seres humanos y los animales. Se descubren permanentemente nuevos flavonoides pero se da mucha relevancia al estudio de nuevas características y propiedades biológicas que presentan los compuestos de este grupo metabólico que ya son conocidos. Es relevante conocer la química, la bioquímica, las aplicaciones biológicas y otras propiedades atribuidas a estos compuestos y sus derivados.

Su biosíntesis, las modificaciones estructurales que presentan, su baja toxicidad y las diferentes actividades, entre otros aspectos, los hacen un grupo biosintético de mucho interés y con perspectiva. Anualmente son muchas las publicaciones provenientes de diferentes regiones del mundo y que aparecen en revistas y libros de reconocida calidad.

Existe mucha información científica al respecto de estos compuestos y día a día se reportan nuevos descubrimientos que avalan la importancia de los flavonoides y sus derivados. Es relevante reconocer que estos compuestos, dependiendo de su estructura química, pueden estar presentes en diferentes tejidos vegetales y hacen parte de procesos evolutivos diversos con diferentes propiedades fisicoquímicas y promueven diversos tipos de actividades.

Se han reportado nuevas ideas al respecto de la utilización de este tipo de compuestos en problemas de salud como los cardiovasculares y que han retomado el interés de la investigación en este campo (Lilamand *et al.* 2014). De otra manera se han realizado estudios al respecto de la importancia de los flavonoides en procesos inflamatorios y analgésicos para el desarrollo de productos farmacéuticos y se hace relevancia al respecto del entendimiento del mecanismo de acción sistémico de estos compuestos (Waldiceu *et al.* 2013).

Un ejemplo de nuevas perspectivas de especies vegetales ricas en flavonoides corresponde a una planta de distribución universal y que está presente en diferentes productos obtenidos de las hojas de Té. Esta droga vegetal presenta flavanoles, flavonoles, proantocianidinas, teoflavinas y otros compuestos fenólicos, todos estos compuestos presentan bioactividad y son potencialmente utilizables en el tratamiento de diversos procesos patológicos. Es muy importante que todos estos estudios sean evaluados por medio de métodos científicos claros y contundentes (Da Silva Pinto 2013).

Son muchos los aspectos relacionados con las diferentes formas de obtener compuestos polifenólicos. Uno de ellos es la ingeniería biosintética destinada a la producción de compuestos de tipo

flavonoide que presentan efectos antiinflamatorios, antioxidantes, antidiabéticos y para el tratamiento de patologías relacionadas con el cáncer y la obesidad, etc. (Putignani *et al.* 2013).

La relación de los flavonoides con la actividad antiangiogénica ha sido reportada para muchos flavonoides conocidos y otros nuevos como el Kushecarpino D aislado de la especie vegetal *Sophora flavescens* Ait, utilizada en la medicina tradicional china. Los resultados fueron positivos y se reporta como promisorio como agente antitumoral (Pu *et al.* 2013).

Otro ejemplo de moléculas de este grupo biosintético corresponde a un estudio realizado del efecto de varios flavonoides frente a células cancerígenas endometriales RL-952. Los flavonoides evaluados fueron kaemferol, miricetina, amentaflovona y quercetina. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que son promisorios para tratamiento relacionados con cánceres endometriales (Zankhana 2012).

El cáncer de pulmón se presenta como una de las principales patologías que afecta la población alrededor del mundo y diversos estudios reportan datos importantes para respaldar que el consumo de alimentos ricos en flavonoides es importante para prevenir estos estados patológicos (García-Tirado *et al.* 2012).

Estudios científicos indican que los flavonoides presentan, dentro de sus diferentes actividades, efectos importantes relacionados con la diabetes tipo 2, una patología de mucha relevancia referida a los alimentos consumidos actualmente. Se indica que el consumo de este tipo de compuestos genera la disminución del riesgo de presentar esta disfunción (Liu *et al.* 2014). Se han reconocido varios aspectos relacionados con el control de esta patología como aumento en la secreción de insulina, promoción de células  $\beta$  pancreáticas, regulación del metabolismo de la glucosa en el hígado, reducción de la resistencia a la insulina, la inflamación y el estrés oxidativo en el músculo y tejido graso, etc. (Anandh Babu *et al.* 2013). Los mecanismos de acción han sido intensamente estudiados y se han encontrado algunos, pero todavía hay muchos aspectos que no se han entendido. Estos efectos han sido estudiados por diversos grupos de investigación y es reconocido que están presentes en la mayoría de los grupos de flavonoides que presentan diferentes estados de oxidación y derivatización con radicales provenientes de diversas rutas biosintéticas. La relación entre la actividad de flavonoides glicosilados y sus agliconas (Fig. 1) sigue siendo de interés y se han desarrollado investigaciones relacionadas con este aspecto. Se estudia la estructura química relacionada con la actividad biológica de los compuestos de tipo polifenólico unidos con azúcares en unión con átomos de carbono o de oxígeno y su influencia sobre los efectos biológicos (Xiao *et al.* 2014).

Los estudios etnofarmacológicos han sido muy importantes para la realización de estudios científicos, en varias regiones del mundo los productos de origen natural son los responsables para

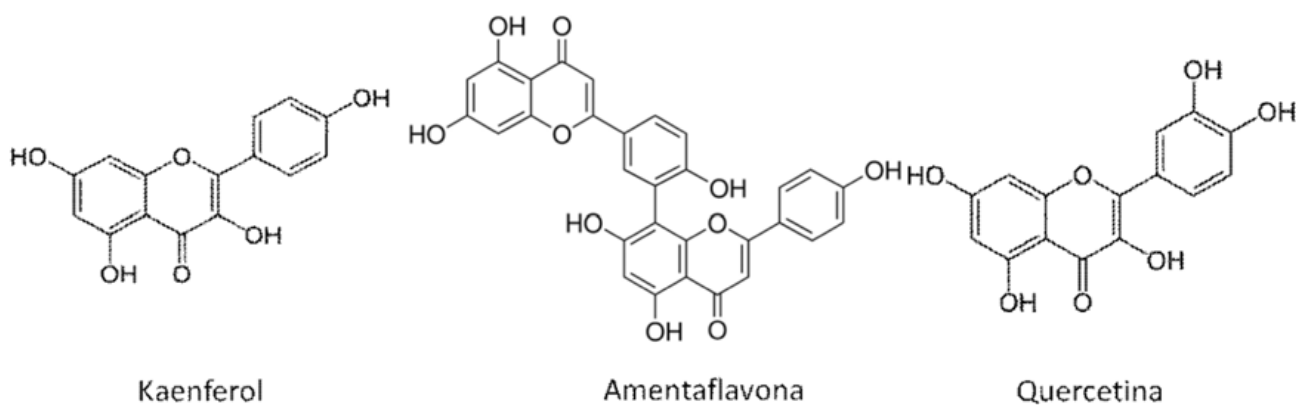



Figura 1. Flavonoides agliconas.



la solución de diversas enfermedades, constituyendo en muchos casos una solución práctica y económica. El tratamiento del cáncer de páncreas es difícil y los tratamientos utilizados en muchos casos no son eficaces, los compuestos polifenólicos bioactivos presentes en frutos utilizados por nativos de Australia han demostrado tener propiedades anticancerígenas, estos metabolitos incluyen flavonoides con diferentes grados de oxidación y derivatización (apigenina, genisteína, miricetina, genisteína, etc.). Tanto los compuestos obtenidos directamente de las plantas como los derivados semisintéticos son importantes para la prevención y el tratamiento de diferentes tipos de cáncer (Vuong *et al.* 2014).

Los flavonoides presentes en los alimentos están relacionados con la prevención y tratamiento de enfermedades degenerativas tales como Parkinson's y Alzheimer's, patologías que están relacionadas con la presencia de especies reactivas de oxígeno (ROS) y es claro que los polifenoles actúan sobre compuestos promotores de este tipo de patologías. La presencia de flavonoides en la dieta de pacientes tratados para el cáncer y enfermedades degenerativas del sistema nervioso central pueden mejorar los tratamientos y mejorar la respuesta a los procedimientos terapéuticos (Quinton *et al.* 2012).

Se han realizado estudios de flavonoides relacionados con la cognición y la demencia, sus acciones, los mecanismos de acción y su potencial terapéutico para el tratamiento de la enfermedades del sistema nervioso central como el Alzheimer (Willians *et al.* 2012).

Aunque los flavonoides se han relacionado ampliamente con actividades como antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, protectores de los vasos periféricos etc, los recientes estudios han mostrado resultados promisorios del uso de flavonoides, o de especies ricas en estos, en el tratamiento de enfermedades negligenciadas como la malaria y la leishmania, en estos casos los flavonoides actúan sobre procesos enzimáticos vitales para los parásitos causantes de estas enfermedades (Correa-Manjolin *et al.* 2013; Jin *et al.* 2014).

Con la creciente utilización de productos derivados de origen natural para el cuidado de la salud, los requerimientos de calidad de productos con ingredientes naturales son cada vez más exigentes y los flavonoides son un grupo de metabolitos secundarios con una amplia aplicación en este campo como marcadores terapéuticos y analíticos para el seguimiento de plantas medicinales, extractos y preparaciones farmacéuticas que contienen ingredientes vegetales.

Debido a la estructura y a las características fisicoquímicas de este grupo de metabolitos estos pueden ser detectados y cuantificados por técnicas como TLC, UV-Vis, CLAE, CL-EMCG-EM, RMN, técnicas empleadas en investigación pero que a su vez pueden ser empleadas para el control de calidad de productos de uso humano y veterinario. Como algunos de los casos más representativos se encuentra el uso de flavonoides para evaluar la calidad de productos que los contienen como: cítricos, alimentos con antocianidinas, *Gingko biloba*, *Calendula officinalis*, *Passiflora* sp, etc.

Los métodos instrumentales son de fundamental importancia en la detección, determinación y cuantificación de los flavonoides en diferentes tejidos y órganos de especies vegetales, son diversos los reportes que describen metodologías novedosas para cumplir con este propósito. Como un ejemplo se puede presentar un estudio donde se desarrolla un método espectrométrico cinético que permite la determinación de tres flavonoides anticancerígenos simultáneamente y de forma rápida. Los compuestos cuantificados fueron los flavonoides presentes en frutos comestibles: catequina, quercetina y naringenina. El procedimiento se realiza utilizando dos estados de oxidación del cobre, medición por espectroscopía UV-vis y su posterior análisis. La ventaja del método es la determinación simultánea y rápida de tres compuestos (Sun *et al.* 2014). Este tipo de métodos podrían ser utilizados para la determinación paralela de este tipo de compuestos en el control de calidad de fitoterapéuticos.

Las técnicas instrumentales acopladas también son utilizadas para la determinación espectrométrica de compuestos de origen natural, un ejemplo es la hidrólisis asistida por ultrasonido

y la realización de cromatografía de gases-masas para la detección de compuestos fenólicos en productos de arándano rojo, en este estudio se detectaron como mayoritarios los flavonoides quercetina y miricetina entre otros compuestos fenólicos. Este método reportó alta sensibilidad, selectividad y repetitividad (Chengjun *et al.* 2011). Las técnicas de este tipo pueden ser aplicadas para estudiar productos naturales y otros procesados.

Las propiedades ecológicas han sido reconocidas para los flavonoides y sus derivados, los taninos condensados, por sus propiedades astringentes juegan una función importante en la protección de la planta. Un ejemplo lo tenemos en la especie vegetal *Geranium sylvaticum* donde se ha demostrado por métodos químicos y con la ayuda de métodos instrumentales la presencia de este tipo de compuestos, su concentración y sus mecanismos de acción (Tuominen *et al.* 2013). Se ha demostrado que estos se encuentran en diferentes órganos y protegen a la planta de herbívoros y de diversas patologías vegetales, estos efectos tienen relación con propiedades pro- y antioxidantes. Se debe tener en cuenta los cambios estacionales con respecto a la concentración de polifenoles como los taninos y su actividad ecológica.

Desde el punto de vista ecológico día a día se descubren nuevas y diversas actividades funcionales particularmente como fotoprotectores siendo la capacidad de captar especies reactivas de oxígeno (ROS) una de las más estudiadas, encontrándose nuevos y contundentes resultados (Agati *et al.* 2013). Se destaca el hecho que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y se ubican en diferentes tejidos de las especies vegetales.

La actualidad y la perspectiva de los flavonoides representa un gran reto para la investigación seria de sus propiedades químicas y biológicas, siendo del todo muy interesante que son compuestos que hacen parte de la vida cotidiana y que los consumimos diariamente. Más interesante es el hecho de que frecuentemente se encuentran publicaciones que reportan nuevas e interesantes propiedades relacionadas con patologías que epidemiológicamente tienen mayor relevancia.



Figura 2. *Geranium sylvaticum*

## Referencias

- Agati, G.; Brunetti, C.; Di Ferdinando, M.; Ferrini, F.; Pollastri, S. & Tattini M. 2013. Functional roles of flavonoids in photoprotection: New evidence, lessons from the past. **Plant Physiology and Biochemistry** **72**: 35-45.
- Anandh-Babu, P.V.; Liu, D. & Gilbert, E.R. 2013. Recent advances in understanding the anti-diabetic actions of dietary flavonoids. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, **24**: 1777-1789.
- Correa Manjolin, L., Balduino Goncalves dos Reis, M., Do Carmo Maquiaveli, C., Andrade Santos-Filho, O., Da Silva, E.. 2013. Dietary flavonoids fisetin, luteolin and their derived compounds inhibit arginase, a central enzyme in *Leishmania (Leishmania) amazonensis* infection. **Food Chemistry** **141(3)**: 2253-2262.
- Da Silva Pinto, Tea: A new perspective on health benefits. 2013. **Food Research International** **53**:558-567.
- García-Tirado, J; Rieger-Reyes, C.; Saz-Peiró, P., 2012. Efecto de los flavonoides en la prevención del cáncer de pulmón, revisión sistemática. *Medicina clínica* 139:358-363.

- Lilamand, M.; Kelaiditi, E.; Guyonnet, S.; Antonelli Incalzi, R.; Raynaud-Simon, A.; Vellas B. & Cesari M. 2014. Flavonoids and arterial stiffness: Promising perspectives. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0939475314000465>, 30, jan, 2014.
- Liu, Y.; Zhan J.; Liu X.; Wang, Y.; Ji J. & He, Q. 2014. Dietary flavonoids intake and risk of type 2 diabetes: A meta-analysis of prospective cohort studies. **Clinical Nutrition** **33**:59-63.
- Pu, L.P.; Chen, H.P.; Cao, M.A.; Zhang X.L.; Gao Q.X.; Yuan C.S.; Wang C.M. 2013. The antiangiogenic activity of Kushecarpin D, a novel flavonoid isolated from *Sophora flavescens* Ait. **Life Sciences** **93**:791-797.
- Putignani, L.; Massa, O.; Alisi A. 2013. Engineered *Escherichia coli* as new source of flavonoids and terpenoids. **Food Research International** **54**:1084-1095.
- Quinton R.D., Jones; Jordan Warford, H.P. ;Vasantha Rupasinghe, and George S. Robertson. 2012. Target-based selection of flavonoids for neurodegenerative disorders. **Trends in Pharmacological Sciences** **33(11)**602-610.
- Sun, R.; Wang, Y.; Ni Y. & Kokot, S. 2014. Simultaneous kinetic spectrometric determination of three flavonoid antioxidants in fruit with the aid of chemometrics. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy** **122**:529-535.
- Tuominen, A.; Toivonen E.; Mutikainen, P. & Salminen J. 2013. Defensive strategies in *Geranium sylvaticum*. Part 1: Organ-specific distribution of water-soluble tannins, flavonoids and phenolic acids. **Phytochemistry** **95**:394-407.
- Tuominen, A. 2013. Defensive strategies in *Geranium sylvaticum*, Part 2: Roles of water-soluble tannins, flavonoids and phenolic acids against natural enemies. **Phytochemistry** **95**: 408-420.
- Vuong, Q.V.; Hiruna S.; Phillips, P.A. ; Chuena, T.L.K.; Bowyer, M.C.; Goldsmitha D.; Scarlet, C.J. 2014. Fruit-derived phenolic compounds and pancreatic cancer: Perspectives from Australian native fruits. **Journal of Ethnopharmacology** **152**: 227-242.
- Waldiceu, A.; Verri, Jr.; Fabiana, T.M.C.; Vicentini, M.M.; Baracat, S.R.; Georgetti, R.D.R.; Cardoso, T.M.; Cunha, S.H.; Ferreira, F.Q.; Cunha, M. J.V. & Fonseca, R.C. 2012. Flavonoids as Anti-Inflammatory and Analgesic Drugs: Mechanisms of Action and Perspectives in the Development of Pharmaceutical Forms. Pp. 297-330. In: Rahman, A. (Eds.) **Studies in Natural Products Chemistry** Chapter 9. Elsevier.
- Wang, C., Zuo, Y. 2011., Ultrasound-assisted hydrolysis and gas chromatography-mass spectrometric determination of phenolic compounds in cranberry products, **Food Chemistry** **128(2)**: 562-568.
- Williams, Robert J.; Jeremy P.E. Spencer. Flavonoids, cognition, and dementia: Actions, mechanisms, and potential therapeutic utility for Alzheimer disease. 2012. **Free Radical Biology and Medicine** **52**: 35-45.
- Xiao, J.; Muzashvili, T.S. & Georgiev, M.I. 2014. Advances in the biotechnological glycosylation of valuable flavonoids. *Biotechnology Advances*: Available online 26 April 2014.
- Zankhana Master, Amit Chaudhary, Thomas R. Sutter, Kristine L. Willett. 2012. Effects of flavonoids in CYP1 expression in RL95-2 endometrial carcinoma cells. **Food Chemistry** **133(3)**:912-922.

# FLAVONÓIDES DE *SOLANUM PALUDOSUM* (SOLANACEAE) COMO POTENCIAIS CANDIDATOS A AGENTES LEISHMANICIDAS

**Magna Suzana Alexandre Moreira & Morgana Vital de Araujo**

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil.

[suzana.magna@gmail.com](mailto:suzana.magna@gmail.com)

## Introdução

Leishmaniose é uma doença parasitária considerada um importante problema de saúde em todo o mundo, com alta endemicidade nos países em desenvolvimento. O alto custo, toxicidade sistêmica e a baixa eficácia atribuída ao desenvolvimento de resistência do parasito, são os graves inconvenientes das opções atuais de tratamento (Kyriazis et al. 2013). Dessa forma, produtos naturais são uma alternativa na busca de novas alternativas terapêuticas como agentes leishmanicidas mais eficazes e seguros.

## Metodologia

A obtenção e isolamento dos flavonoides foram realizados no Laboratório de Bioprospecção Fitoquímica (BioFito)-UFRPE. Os ensaios biológicos foram realizados no Laboratório de Farmacologia e Imunidade (LaFI)-UFAL. Realizou-se o ensaio viabilidade celular através do ensaio colorimétrico MTT (Mosmann, 1983) onde observou-se o potencial citotóxico *in vitro* dos flavonoides para macrófagos peritoneais. Para *screening* de atividade leishmanicida foi realizado ensaio de viabilidade direta sobre os parasitos (Ávila et al. 1997) para seleção dos flavonoides mais ativos para realização dos ensaios *in vivo*. Foi realizado o ensaio *in vivo* com promastigotas de *Leishmania chagasi* através de infecção de hamsters e ensaio *in vivo* com promastigotas de *Leishmania amazonensis* em camundongos BALB/C. Adaptado de Pereira et al. (2010). Os dados obtidos foram analisados por ANOVA seguido pelo pós-teste de *Dunnnett*, sendo considerado significativo quando  $p < 0,05$ .

## Resultados e discussão

A citotoxicidade dos flavonoides foi avaliada pelo método de MTT utilizando macrófagos peritoneais de camundongos *Swiss* (CEP-UFAL 2.2013). As células hospedeiras foram tratadas com os flavonoides durante um período de 48 horas e comparados com o veículo (DMSO). Neste ensaio observou-se toxicidade dos flavonoides SP03, SP06, SP07, SP09 e quercetina permetilada para a célula hospedeira, assim como o fármaco padrão pentamidina, apenas na concentração de 100  $\mu$ M.

Com o objetivo de investigar a atividade leishmanicida direta sobre o parasito, determinou-se o efeitos dos flavonoides e pentamidina contra promastigotas das espécies de *L. amazonensis* e *L. chaga-*

*si in vitro*. Os flavonoides apresentaram significativa atividade contra ambas as espécies. Com bases nestes dados, a quercetina permetilada foi selecionada para o ensaio *in vivo* de infecção em hamsters e o flavonoide SP07 para o ensaio de infecção de *L. amazonensis* com camundongos Balb/C.

No ensaio de infecção de leishmaniose tegumentar foi observado que a quercetina permetilada (30  $\mu$ mols / kg / dia x 28 dias - intraperitoneal) apresentou significativa atividade contra *L. amazonensis*, uma vez que diminuiu a lesão da orelha infectada do animal na terceira semana após o tratamento quando comparado com o grupo controle infectado/não tratado. Além disso, o tratamento *in vivo* não induziu variação significativa do peso do baço e alterações de alanina aminotransferase (ALT), aspartato aminotransferase (AST) e creatinina (CREA) e ureia no plasma de animais. No ensaio de infecção de leishmaniose visceral foi observado que o flavonoide SP07 apresentou significativa atividade leishmanicida, pois reduziu de forma estatisticamente significativa a carga parasitária do baço quando comparado com o controle infectado/não tratado. Esses resultados evidenciam estes flavonoides como fortes candidatos à protótipos de fármacos leishmanicidas.

## Referências

- Ávila, J.L.; Ávila, A.; Polegre, M.A.; Márquez, V.E. 1997. Specific inhibitory effect of 3-deazaneplanocin A against several *Leishmania mexicana* and *L. braziliensis* strains. **Journal Tropical Medicine Hygiene** 57: 407-412.
- Kyriazis, J.D.; Aligiannis, N.; Polychronopoulos, P.; Skaltsounis, A.L.; Dotsika, E. 2013. Leishmanicidal activity assessment of olive tree extracts. **Phytomedicine** 15: 20(3-4):275-81.
- Mosmann, T. 1983. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. **Journal of Immunology Methods** 6: 55-63.
- Pereira, J.C.M.; Caregaro, V.; Costa, D.L.; Santana da Silva, J.; Cunha, F.Q.; Franco, D.W. 2010. Antileishmanial activity of ruthenium (II) tetraammine nitrosyl complexes. **European Journal of Medicinal Chemistry** 45: 4180-4187.





# LAS PLANTAS MEDICINALES DE ARGENTINA: TRAS LA BÚSQUEDA DE ÁREAS RELICTAS PARA SU CONSERVACIÓN

**Gloria E. Barboza**

Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Químicas y Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV), CONICET, Argentina.

[gbarboza@imbiv.unc.edu.ar](mailto:gbarboza@imbiv.unc.edu.ar)

La flora medicinal de Argentina comprende unas 1.637 especies en las que la evidencia empírica ha demostrado sus propiedades terapéuticas. La mayor riqueza taxonómica se concentra en el noroeste argentino mientras que las áreas con menor biodiversidad se presentan en el sur del país y de allí progresivamente la biodiversidad va en progresivo aumento hacia el centro-oeste de Argentina y el litoral. Distintos factores afectan el grado de conservación de las especies destacándose aquéllas que resultan amenazadas por su área de distribución restringida y con una progresiva destrucción de sus hábitats. Desde una perspectiva más local, se ha iniciado un estudio tras la búsqueda de áreas relictas con plantas medicinales. En las regiones montañosas los afloramientos rocosos son hábitats importantes desde el punto de vista de conservación de la biodiversidad por la riqueza de sus endemismos, la presencia de especies raras y su valor como refugio de especies amenazadas. Las Sierras Pampeanas Orientales (Prov. Córdoba) son cordones con frecuentes cerros aislados con relieve cónico escarpado, en forma de mesada, rodeados por una matriz circundante con materiales geológicos diferentes y más antropizada. En las mesadas viven especies diferentes respecto a las de las planicies circundantes y ello puede deberse a asociaciones complejas con los micro-hábitats, geoquímica e interacciones bióticas. En este estudio, se describe la variación composicional de la flora medicinal de las islas rocosas y planicies circundantes. Las Bases de Datos generadas por los autores y la de PlaNEAR se emplearon para categorizar el uso medicinal y grado de amenaza de las especies, respectivamente. Se pudo demostrar que las mesadas poseen un mayor número de taxones medicinales y de endemismos respecto a la matriz circundante. Estas mesadas aisladas son islas potenciales para la conservación de la biodiversidad, fuentes de especies para la recolonización de sitios degradados circundantes, y pueden proveer de hábitats para especies sobre-utilizadas, como las medicinales, contribuyendo a mantener y aumentar la diversidad regional. (CONICET, SECyT).



# DRUG DISCOVERY FROM HIGHER PLANTS: CHALLENGES AND PERSPECTIVES

**Emerson F. Queiroz**

University of Lausanne, School of Pharmaceutical Sciences, Phytochemistry  
and Bioactive Natural Products, Geneva, Switzerland.

Natural products (NPs) have been a source of inspiration for drug development throughout history. Higher plants represent a rich source of new molecules with interesting pharmacological properties that could be used as lead compounds for the development of new drugs. During the last decade, the investigation of secondary metabolites from plants has led to the introduction of several important new drugs, such as apomorphine (Apokyn®) for the treatment of Parkinson's disease and nitisinone (Orphadin®) for the treatment of hereditary tyrosinaemia type 1. Success in drug discovery research using plants depends on various issues. The choice of the appropriate plant material is usually based on information from traditional medicine, chemotaxonomic data, field observation or random collection. Recently, other approaches have been used, such as reverse pharmacognosy and induction of new compounds by stress elicitation. Extraction and enrichment procedures are key issues to avoid chemical degradation and detect active constituents among hundreds of others before biological screening. New high-throughput screening strategies have been used to rapidly and efficiently evaluate the biological and chemical potential of complex matrices, such as plant extracts. Tremendous advances have been made in molecular biology, affording the development of more predictable *in vitro* and *in vitro* bioassays. The combination of metabolite profiling and bioassays provides the possibility to distinguish between already known bioactive compounds and new molecules direct on the crude plant extract (dereplication). Thus, the targeted isolation of new bioactive products or constituents presenting novel or unusual spectroscopic features can be undertaken. The structural identification of a new NP requires only very small amounts of material (sub milligram) using this approach. On the other hand; however, the characterization of the complete bioactivity profile of a potential lead requires milligram or tens of milligram amounts. In this case it is necessary to use chromatographic methods for the purification of NPs at the preparative scale. The applications, possibilities and limitations of latest technologies applied to study plant metabolites from South America, as well as future developments expected in this field, will be discussed.

# BOTANICAL NOMENCLATURE – THE MELBOURNE CODE AND ITS NOVELTIES

**John McNeill<sup>1</sup>, Nicholas Turland<sup>2</sup>, Jefferson Prado<sup>3</sup> & Sandra Knapp<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Royal Botanic Garden, Edinburgh, Scotland, United Kingdom.

<sup>2</sup>Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany.

<sup>3</sup>Instituto de Botânica, Herbário SP, São Paulo, SP, Brazil.


<sup>4</sup>The Natural History Museum, Cromwell Road, London, United Kingdom.

The XVIII International Botanical Congress held in Melbourne, Australia in July 2011 made a number of very significant changes in the rules governing what has long been termed botanical nomenclature, although always covering algae and fungi as well as green plants. This edition of the *Code* embodies these decisions; the first of which that must be noted is the change in its title. Since the VII International Botanical Congress in Stockholm in 1950, successive editions of the *Code* have been published as the *International Code of Botanical Nomenclature*, commonly abbreviated as *ICBN*. In Melbourne, reflecting the view, particularly amongst mycologists, that the word “Botanical” was misleading and could imply that the *Code* covered only green plants and excluded fungi and diverse algal lineages, it was agreed that the name be changed to *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* (McNeill *et al.* 2012). In referring to the *Code* under its new title, we will use the abbreviation *ICN*.

The rules that govern the scientific naming of algae, fungi, and green plants are revised at Nomenclature Section meetings at successive International Botanical Congresses. As noted above, this edition of the *Code* embodies the decisions of the XVIII Congress in Melbourne in 2011. It supersedes the *Vienna Code*, published six years ago subsequent to the XVII International Botanical Congress in Vienna, Austria and like its immediate predecessors, it is written entirely in (British) English. The *Vienna Code* was translated into Chinese, Japanese, Portuguese, Russian, and Turkish; it is therefore anticipated that the *Melbourne Code*, too, will become available in several languages.

The *Melbourne Code* represents a much more substantial revision to the rules of nomenclature than has been the case with any other recent edition of the *Code*. This is not only due to the important changes accepted in Melbourne, but also because the Editorial Committee was instructed to re-organize the rules on valid publication of names in a more logical manner (see below), and took upon itself a more thorough examination of the overall clarity and consistency of the *Code*. However, despite this, the overall presentation and arrangement of the remaining text of the *Melbourne Code* remains broadly similar to that in the *Vienna Code*.

More strikingly, it was agreed in Melbourne that the Appendices (other than App. I on the nomenclature of hybrids) need no longer be published along with the main text, and indeed may be published only electronically. Consequently this volume comprises only the main text of the *Code*, that is the Preamble, Division I Principles, Division II Rules and Recommendations, Division III Provisions for the Governance of the *Code*, Appendix I Names of Hybrids, the Glossary, the Index of scientific names, and the Subject index. A separate volume comprising Appendices II–VIII will be published later, both as a printed volume and electronically. Appendices II–VI will cover conserved and rejected names and suppressed works as in the *Vienna Code*, but App. VII and VIII are new and reflect a decision of the



Melbourne Congress to include in Appendices the binding decisions under Art. 38.4 of this *Code* on whether or not to treat a name as validly published when it is doubtful whether a descriptive statement satisfies the requirement for a “description or diagnosis” and those under Art. 53.5 on whether or not to treat names as homonyms when it is doubtful whether they or their epithets are sufficiently alike to be confused.

In addition to the change in the title of the *Code* and the separation of the Appendices, there were two other major changes to the rules of nomenclature adopted in Melbourne: the acceptance of certain forms of electronic publication; the option of using English as an alternative to Latin for the descriptions or diagnoses of new taxa of non-fossil organisms.


The Nomenclature Section approved overwhelmingly the series of proposals prepared by the Special Committee on Electronic Publication set up by the Vienna Congress in 2005 (see Chapman *et al.* 2010). This means that it is no longer necessary for new names of plants, fungi, and algae (and designations of types) to appear in printed matter in order to be effectively published. As an alternative, publication online in Portable Document Format (PDF) in a publication with an International Standard Serial Number (ISSN) or International Standard Book Number (ISBN) is permitted. The Special Committee had proposed 1 January 2013 as the starting date for the new rules (the beginning of the year following the expected publication of this edition of the *Code*), but the Section believed implementation so important that it decided to bring the date forward to 1 January 2012. As this was ahead of publication of the *Code* and because of the significance of the change, a paper reporting the details of the decision and incorporating a draft of the new rules was published in September 2011 almost simultaneously in 17 journals, and has been translated from English into eight languages (see e.g. Knapp *et al.* 2011).

The provision for electronic publication by PDF in an online publication with an ISSN or ISBN is included in Art. 29, and the circumstances that do not constitute effective publication, both electronically and otherwise, are set out in Art. 30. In the case of electronic publication, these circumstances include the publication being a preliminary one, and any alterations made after effective publication. Article 31, dealing with the date of effective publication, includes matter peculiar to electronic publication. Recommendation 29A sets out a series of recommendations on best practice in electronic publishing, particularly with regard to long-term archiving, and 12 new Examples are provided in Art. 29–31 addressing a number of situations that arise with electronic publication.

The requirement that for valid publication of the name of a new taxon a Latin description or diagnosis be provided goes back to the *Vienna Rules* of 1906 (Briquet 1906). It was not, however, a feature of the rival *American Code* of 1907 (Arthur *et al.* 1907) and so, when the schism was healed in 1930 at the V International Botanical Congress in Cambridge, U.K., the effective date was moved forward to 1 January 1935. Names of algae and fossils were initially exempt from the requirement; for the former it was later required from 1 January 1958, whereas for the latter, the first language restriction came at the Tokyo Congress of 1993, which specified that from 1 January 1996, the description or diagnosis must be in either English or Latin. A proposal was made to the Nomenclature Section in Melbourne to extend this requirement for names of fossils to names of fungi, but the Section decided to apply this rule to all organisms under the jurisdiction of the *ICN* and also decided that, like the rules on electronic publication, this more permissive provision would become effective on 1 January 2012. The general provisions are in Art. 39 (names in all groups being covered by Art. 39.2), whereas the special provisions for names of fossils are in Art. 43.1 and those of algae in Art. 44.1.

Other important technical changes were adopted in Melbourne and some are described below.

Reference has been made to the restructuring of the section of the *Code* dealing with the requirements for valid publication of names. One of the major difficulties with this section in all recent editions of the *Code* was that the provisions for valid publication of names of new taxa and those for valid publication of renamings of existing taxa, i.e. new combinations, names at new ranks, and replacement names, were not clearly distinguished. In addition the placement of some matters such as



misplaced ranks was rather illogical, and others, such as the provision for an illustration with analysis were to some degree duplicated. The new structure of this portion of the *Code*, now established as a separate chapter (V: “Valid Publication of Names”) is much more logical, and, although it may take some of us a little time to get used to different numberings for frequently cited clauses (e.g. Art. 38.1(a) instead of 32.1(d) for the requirement for a validating description or diagnosis), we are convinced that this chapter will now be much easier to understand and to apply.

The chapter is divided into four sections. Section 1, General Provisions (Art. 32–37), contains the rules applicable to all names, such as the requirement for effective publication, the form of the name, the determination of date, the requirement for acceptance by the publishing author and for clear indication of rank, and the provision for names not being validly published by suppression of the work in which they appear. Section 2, Names of new taxa (Art. 38–40), covers their particular requirements such as the need for a description or diagnosis, the language of that description or diagnosis, and the requirement for type designation. Section 3, New combinations, names at new ranks, replacement names (Art. 41), encompasses all the provisions relating to such names, including permissible ranks of a basionym or replaced synonym, and the requirements, varying over time, for reference to that basionym or replaced synonym. Section 4, Names in particular groups (Art. 42–45), incorporates those provisions that are only applicable to names of fungi (Art. 42), fossils (Art. 43), algae (Art. 44), and taxa originally assigned to groups not covered by this *Code* (Art. 45).

Despite the rather dramatic changes accepted in Melbourne that are described above, taken overall, the Melbourne Congress like most of its predecessors, was rather conservative in that less than a quarter (24%) of the published proposals were accepted. Nevertheless, a small number of significant changes incorporating many useful clarifications and improvements to the *Code*, both in wording and substance, were adopted. Here we only draw attention to changes of some note. A full report on the Section’s decisions has been published elsewhere (McNeill *et al.* 2011).

Although not involving any change in the rules themselves, the Congress in Melbourne accepted a proposal for clear definition of the terms, “name of a new taxon”, “new combination”, and “replacement name” (Art. 6.9–6.11). This not only allows these concepts to be referred to more clearly throughout the *Code* and avoids cumbersome phrases such as “generic name with a basionym”, but also facilitates the separation of the different rules for valid publication of names of new taxa from those for new combinations, names at new ranks, and replacement names referred to above. As a by-product, two paragraphs of Art. 7 were transposed, that dealing with typification of a new combination or a name at new rank (now Art. 7.3) has been, more logically, placed ahead of that of a replacement name (now Art. 7.4).

The Melbourne Section accepted the term “replacement name” as the preferred term in the *Code* over “nomen novum” and “avowed substitute”, although use of the term nomen novum (or its abbreviation nom. nov.) is still recommended when publishing a replacement name (Rec. 32A.1).

The rules on typification of sanctioned names and of names in groups with a starting date later than 1753 are necessarily different from those for other names, but in changes to the *Code* over the years, such as the introduction of the definition of “original material”, this has not always been taken fully into account. The Congress in Melbourne clarified typification of both these groups of name. Article 7.8 now addresses specifically the typification of names in groups with a later starting date. The typification of sanctioned names, resolved as a result of an *ad hoc* committee meeting during the Nomenclature Section in Melbourne, requires slightly different rules for names of species and infraspecific taxa from those for names of genera and subdivisions of genera and are to be found in Art. 9.10 and Art. 10.2(b) (with 10.5), respectively. The circumstances under which a sanctioned name excludes the original type of the name are set out in Art. 48.3.

The terms “isolectotype”, “isoneotype”, and “isoepitype” do not apply to any element that has particular significance under the rules, and so have not hitherto appeared in the *Code*. Their mea-

ning is self-evident and there are situations (including the Appendices to the *Code*) in which their adoption is useful. Moreover their absence from the *Code* has apparently prompted some to question the appropriateness of their use. As a result of a proposal accepted in Melbourne, their use is now included in Rec. 9C.

Although the name of any subdivision of a family that includes the type of the family name must be based on the same generic name as that of the family (Art. 19.4), there are often circumstances in which the earliest name for a subdivision of a family is not the most familiar one, particularly when long-established families are united. This prompted the acceptance in Melbourne of the provision that appears in Art. 19.5 by which a name of any subdivision of a family formed from the same generic name as a conserved family name listed in App. IIB has precedence over names not so formed (unless Art. 19.4 applies).


The rules on attribution of a name to an author or authors rely heavily on the concept of ascription (Art. 46.3) (“the direct association of the name of a person or persons with a new name or description or diagnosis of a taxon”). However, although the authorship of a description or diagnosis is commonly unambiguous (being, for example, the author of the publication) it is uncommon for the author’s name to be directly associated with any single description or diagnosis. Accordingly it was agreed in Melbourne that Art. 46.2 be amended to add the words “or unequivocally associated with”.

Article 48 has long established that adopting an existing name but definitely excluding its “original” type, establishes a later homonym, but in practice this has had limited application because very few early names, at least of species and infraspecific taxa, have an original type. The Congress decided to make the rule more practical, by deleting “original” and defining exclusion of the type in a way analogous to that adopted for inclusion of a type in Art. 52 for superfluous names (see Art. 48.2 of this *Code*).

Among the more narrowly focussed changes incorporated in the *Melbourne Code* are the following: It is made clear that the *Microsporidia*, although phylogenetically related to the fungi, continue to fall under the provisions of the *ICZN*. Names above the rank of family, like family names, are treated as derived from the name of an included genus (and not from a family name). The terminations of automatically typified names above the rank of family are now all incorporated within Articles (Art. 16.3 and 17.1), whereas previously most were dealt with indirectly through a Recommendation. A provision has been included in Art. 56 to make it clearer that once the rejection of a name under that Article has been approved by the General Committee, rejection of the name is authorized in the same manner as is ruled for conserved names in Art. 14.16; in previous editions, this was only noted incidentally in Art. 14. It is also made clear (Art. 9.5) that reference to an entire gathering, or a part thereof, is considered citation of the included specimens.

The Glossary, a new feature in the *Vienna Code*, has retained its basic structure but has been revised and updated. New entries in the Glossary include: “author citation”, “binding decision”, “element”, “isoepitype”, “isolectotype”, “isoneotype”, “name of a new taxon”, “organism”, “suppressed works”, and “type designation”, while some existing entries have been substantially revised, e.g. “basionym”, and “confusingly similar names”; for others, such as “name at new rank (status novus)” and “replacement name (avowed substitute)”, the primary entry has been changed to reflect the preferred term in the *Code*. Five entries have been deleted (“exsiccata”, “form taxon”, “holomorph”, “morphotaxon”, and “plant”), reflecting the fact that these terms are no longer used in the *Code* (or not in any special way). This reflects the role of the Glossary which is strictly to explain terms used in the *Code*, and where possible to do so using the precise wording associated with these terms in the *Code*. The Glossary does not seek to cover all terms useful in the nomenclature of organisms falling under the *Code*; for that users can refer to a work such as Hawksworth, *Terms used in Bionomenclature* (2010).

In recent editions of the *Code* the text has used three different sizes of type, the Recommendations and Notes being set in smaller type than the Articles, and the Examples and footnotes in smaller



type than the Recommendations and Notes. These type sizes, which have been maintained in this edition, reflect the distinction between mandatory rules (Articles), complementary information or advice (Notes and Recommendations), and explanatory material (Examples and footnotes). The *Melbourne Code* has, however, attempted to make this distinction clearer by including the numbers of each paragraph of the Articles (and of those of the Preamble and Principles) in white within a black background, but not doing so for the paragraph numbers of the Recommendations. Notes, which explain something that may not at first be readily apparent but is covered explicitly or implicitly elsewhere in the *Code*, are appropriately identified with an “i” (for “information”) highlighted in the same way as the Article numbers. A Note has binding effect but, unlike an Article, does not introduce any new provision or concept. Examples are distinguished, in addition to the smaller font size, by being indented.

Most Examples in the *Code* have been provided by successive Editorial Committees, some on the basis of suggestions made at a Nomenclature Section, but the majority emanating from the work of the Editorial Committees themselves. A number of Examples, however, are not of this type. These are prefixed by an asterisk (\*) in the *Code* and are termed “voted Examples”. They are Examples that were formally accepted by a Nomenclature Section of a Congress and contain material that is not fully, or not explicitly, covered in the rules. A voted Example is therefore comparable to a rule, as contrasted with other Examples provided by the Editorial Committee solely for illustrative purposes. In the *Melbourne Code*, the footnote (to Art. 7 Ex. 13) explaining the significance of the asterisk and the Glossary entry on “voted Example” have been elaborated to make the function of a voted Example clearer.

As in all recent editions, scientific names under the jurisdiction of the *Code*, irrespective of rank, are consistently printed in *italic type*. The *Code* sets no binding standard in this respect, as typography is a matter of editorial style and tradition, not of nomenclature. Nevertheless, editors and authors, in the interest of international uniformity, may wish to consider adhering to the practice exemplified by the *Code*, which has been well received in general and is followed in a number of botanical and mycological journals. To set off scientific names even better, the abandonment in the *Code* of italics for technical terms and other words in Latin, traditional but inconsistent in early editions, has been maintained.

Like its predecessors, the titles of books in bibliographic citations are abbreviated in conformity with *Taxonomic literature*, ed. 2, by Stafleu & Cowan (1976–1988; with Supplements 1–6 by Stafleu & Mennega 1992–2000, and 7–8 by Dorr & Nicolson 2008–2009), or by analogy, but with capital initial letters. For journal titles, the abbreviations follow BPH-2 by Bridson *et al.* (2004). In the editing of this edition, a more thorough review to ensure consistent usage in language and terminology has been undertaken. For example, whereas “specific rank” and “specific epithet” are used, the diverse use of “species name” and “specific name” has been standardised in favour of the former. Most of this work was accomplished by one of us (Nicholas Turland), but we have been aided substantially by one member of the Editorial Committee (Werner Greuter) having occasion to review the wording of the *Code* in great detail and in so doing identified a number of other inconsistencies and possible ambiguities that have consequently been rectified.

Author citations of scientific names appearing in the *Code* are standardized in conformity with *Authors of plant names*, by Brummitt & Powell (1992), as mentioned in Rec. 46A Note 1; these are also adopted and updated by the International Plant Names Index, and may be accessed at <http://www.ipni.org/ipni/authorsearchpage.do>. One may note that the *Code* has no tradition of recording the ascription of names to pre-1753 authors by the validating author, although such “pre-ex” author citations are permitted (see Art. 46 Ex. 35).

The *Melbourne Code* was prepared according to the procedures outlined in Division III, which have been operating with hardly any change since the Paris Congress of 1954. Altogether, 338 numbered proposals to amend the *Code* were published in *Taxon* between February 2008 and December 2010. Their synopsis, with comments by the Rapporteurs, appeared in *Taxon* (McNeill & Turland 2011) and served as the basis for the preliminary, non-binding mail vote by the members of the Internatio-

nal Association for Plant Taxonomy (and some other persons), as specified in Division III of the *Code*. Tabulation of the mail vote was handled at the Central Office of the International Association for Plant Taxonomy in Vienna by the then Managing Secretary of IAPT, Alessandra Ricciuti Lamonea, and her assistants. The results were made available to the members of the Nomenclature Section at the beginning of its meetings; they were also tabulated in McNeill *et al.* (2011), along with the actions taken by Congress.

The Nomenclature Section met in the Copland Theatre, Economics and Commerce Building, University of Melbourne (Parkville campus), Melbourne, Australia, from Monday, 18 July until Friday, 22 July. There were 204 registered members in attendance, carrying 396 institutional votes in addition to their personal votes, making a total of 600 possible votes. Although as in Vienna in 2005 this was a large attendance compared with many previous Congresses, it was substantially smaller than that at St. Louis in 1999, which had a record attendance (with 297 members carrying 494 institutional votes, making a total of 791 possible votes). The Section officers, previously appointed in conformity with Division III of the *Code*, were S. Knapp (President), B. J. Lepschi (Recorder), J. McNeill (Rapporteur-général), and N. J. Turland (Vice-Rapporteur). The Recorder was assisted by A. M. Monro. Each Nomenclature Section is entitled to define its own procedural rules within the limits set by the *Code*. As on previous occasions, at least a 60% assenting majority was required for any proposed change to the *Code* to be adopted. Proposals that received 75% or more “no” votes in the mail vote were ruled as rejected unless raised anew from the floor.

The Nomenclature Section also appointed the Editorial Committee for the *Melbourne Code*. As is traditional, only persons present at the Section meetings were invited to serve on that Committee, which as the *Code* requires is chaired by the Rapporteur-général and as is logical includes the Vice-Rapporteur as its secretary. The Nominating Committee of the Nomenclature Section in Melbourne decided to increase the size of the Editorial Committee from the usual 12 to 14 to provide for better international representation.

Each Editorial Committee has the task of addressing matters specifically referred to it, incorporating changes agreed by the Section, clarifying any ambiguous wording, ensuring consistency, and providing additional Examples for inclusion. The terms of the Committee’s mandate, as defined by the Section in Melbourne, included, in addition to the specific mandate to re-organize the section on valid publication, the usual empowerment to alter the wording, the Examples, or the location of Articles and Recommendations, in so far as the meaning was not affected; while retaining the present numbering in so far as possible.

Like other international codes of nomenclature the *ICN* has no legal status and is dependent on the voluntary acceptance of its rules by authors, editors, and other users of names that it governs. We trust that this *Melbourne Code* will make their work just that little easier.

## References

- Arthur, J.C.; Barnhart, J.H.; Britton, N.L.; Clements, F.E.; Cook, O.F.; Coville, F.V.; Earle, F.S.; Evans, A.W.; Hazen, T.E.; Hollick, A.; Howe, M.A.; Knowlton, F.H.; Moore, G.T.; Rusby, H.H.; Shear, C.L.; Underwood, L.M.; White, D. & Wight, W.F. 1907. American Code of Botanical Nomenclature. **Bulletin of the Torrey Botanical Club** 34: 167–178.
- Bridson, G.D.R. (ed.). 2004. **BPH-2. Periodicals with botanical content**. Hunt Institute for Botanical Documentation, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
- Briquet, J. 1906. **Règles Internationales de la Nomenclature Botanique adoptées par le Congrès International de Botanique de Vienne 1905**. Gustav Fischer, Jena.
- Brummitt, R.K. & Powell, C.E. 1992. **Authors of Plant Names**. Royal Botanic Gardens. Kew.



- Chapman, A.D.; Turland, N.J.; Watson, M.F. 2010. Report of the Special Committee on Electronic Publication. **Taxon 59**: 1853–1862.
- Dorr, L.J. & Nicolson, D.H.A. 2008–2009. Taxonomic literature II. **Regnum Vegetabile 149, 150**.
- Hawksworth, D.L. 2010. **Terms Used in Bionomenclature. The naming of organisms (and plant communities)**. <http://bionomenclature-glossary.gbif.org> (acesso em 05/05/2014).
- Knapp, S.; McNeill, J. & Turland, N.J. 2011. Changes to publication requirements made at the XVIII International Botanical Congress in Melbourne – what does e-publication mean for you? **Taxon 60**: 1498–1501.
- McNeill, J. & Turland, N.J. 2011. Synopsis of proposals on botanical nomenclature – Melbourne 2011: A review of the proposals concerning the International Code of Botanical Nomenclature submitted to the XVIII International Botanical Congress. **Taxon 60**: 243–286.
- McNeill, J.; Turland, N.J.; Monro, A. & Lepschi, B.J. 2011. XVIII International Botanical Congress: preliminary mail vote and report of Congress action on nomenclature proposals. **Taxon 60**: 1507–1520.
- McNeill, J.; Barrie, F.R.; Buck, W.R.; Demoulin, V.; Greuter, W.; Hawksworth, D.; Herendeen, P.S.; Knapp, S.; Marhold, K.; Prado, J.; Prud'homme van Reine, W.F.; Smith, G.F.; Wiersema, J.E.H. & Turland, N.J. 2012. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code): Adopted by the Eighteenth International Botanical Congress Melbourne, Australia, July 2011. **Regnum Vegetabile 154**: 1–240.
- Stafleu, F.A. & Cowan, R.S. 1976–1988. Taxonomic literature II. **Regnum Vegetabile 94, 98, 105, 110, 112, 115, 116**.
- Stafleu, F.A. & Mennega, E.A. 1992–2000. Taxonomic literature II. **Regnum Vegetabile 125, 130, 132, 134, 135, 137**.

# DISTRIBUIÇÃO DE PALMEIRAS NAS FLORESTAS TROPICAIS: FATORES DETERMINANTES

Rita de Cássia Quitete Portela<sup>1</sup>, Maria Isabel Guedes Braz<sup>1</sup>,  
Maurício Bonesso Sampaio<sup>2</sup> e Mónica Moraes R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

[rita@quiteteportela.com.br](mailto:rita@quiteteportela.com.br)


<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

<sup>3</sup>Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

## O estado da arte

Descrever os fatores que determinam a distribuição e abundância dos organismos é uma questão central na ecologia e há séculos fascina os pesquisadores (Begon *et al.* 2006). Estudos sobre a distribuição de espécies relatam a importância de fatores como o clima e topografia (Eiserhardt *et al.* 2011; Pearson & Dawson 2013). Os fatores climáticos são os mais analisados para tentar entender a sua influência na distribuição das espécies, sendo usados de maneira bastante frequente nos modelos de distribuição potencial de espécies (ver os “envelopes bioclimáticos” em Pearson & Dawson 2013). Outro fator abiótico com forte influência na distribuição de muitas espécies de plantas são as características edáficas (Eiserhardt *et al.* 2011). Junto com o clima, topografia e as características do solo, as interações bióticas também possuem um importante impacto na ocorrência de muitas espécies (Pearson & Dawson 2013). Como os sistemas naturais são formados por uma rede complexa de interações entre espécies, muitas vezes a mudança na distribuição de uma única espécie pode ter significativos impactos na distribuição de muitas outras espécies. Apesar da conhecida influência desses fatores supracitados, a forma como eles determinam a distribuição das espécies depende da escala (Pearson & Dawson 2013). Por exemplo, numa escala continental e até mesmo global, o clima pode ser considerado um fator determinante, mas em escalas mais locais fatores como tipo de solo, interações bióticas e microclima podem se tornar importantes. Além dos fatores abióticos e bióticos, o padrão de distribuição das espécies não depende somente do ambiente contemporâneo, depende também de eventos passados (Eiserhardt *et al.* 2011). Por exemplo, o clima passado de uma determinada região junto com a limitação de dispersão pode influenciar os padrões de distribuição das espécies atuais (Eiserhardt *et al.* 2011).

As espécies da família Arecaceae são amplamente distribuídas em zonas úmidas do globo e são ausentes ou raras em zonas muito secas ou muito frias (Jones 1995; Eiserhardt *et al.* 2011). Elas ocorrem de maneira abundante e com uma ampla distribuição nos trópicos, mas é uma família muito rara nas zonas temperadas (Jones 1995). Nos trópicos elas têm uma distribuição que vai das áreas ao nível do mar até áreas de floresta de altitude e topos de montanha (Jones 1995). Algumas espécies apresentam uma ampla distribuição geográfica, como *Cocos nucifera*, mas muitos gêneros de palmeiras são endêmicos de áreas muito pequenas e até mesmo de ilhas (Jones 1995). Essa última




característica indica a habilidade da família em se desenvolver e crescer em nichos ambientais muito específicos (Jones 1995). De maneira geral, cerca de dois terços das espécies de palmeiras têm como habitat as florestas tropicais úmidas e nessas áreas elas ocorrem nos diversos estratos florestais e em diversas formas de vida, de emergentes ao sub-bosque, do porte arbóreo a trepadeiras (Jones 1995). Algumas espécies também ocupam áreas abertas, geralmente formando densas populações monodominantes (Jones 1995). Por outro lado, poucas conseguem ocorrer em áreas que são submetidas a temperaturas abaixo de zero (Gatti *et al* 2008).

Os principais fatores abióticos que influenciam a distribuição das palmeiras são aqueles relacionados à disponibilidade de água. Blach-Overgaard e colaboradores (2010) relataram que o clima é mais importante do que o habitat e o impacto humano na determinação da distribuição de espécies de palmeiras no continente Africano. No mesmo estudo, os autores relataram que variáveis relacionadas à água são as variáveis climáticas mais importantes do clima para a maioria das espécies, mas que temperatura também atua de maneira importante. Salm e colaboradores (2007) estudando a comunidade de palmeiras de uma reserva na Amazônia Brasileira encontraram também que a umidade e temperatura são fatores determinantes na distribuição da comunidade de palmeiras, mas relataram também a importância da sazonalidade desses fatores. Além dessas duas variáveis climáticas, eventos climáticos extremos também podem influenciar a ocorrência das espécies de palmeiras (Eiserhardt *et al.* 2011). Em escala mais local, a distribuição e abundância das palmeiras do continente Americano estão relacionadas a fatores do solo como conteúdo de argila e alumínio e concentração de nutrientes (Svenning 2001). Também em escala local, a presença de áreas alagadas tem forte influência na distribuição e abundância das espécies de palmeiras (Silva Matos & Alves 2008). Nessas escalas mais finas, algumas espécies parecem possuir especialização em determinados microhabitats, e essa capacidade pode ser um importante fator que permite a coexistência entre espécies de palmeiras (Silva Matos & Alves 2008, Svenning *et al.* 2009). Já em escalas continentais e globais, esses fatores parecem pouco importantes para a distribuição da família (Blach-Overgaard *et al.* 2010).

Já os fatores bióticos que mais influenciam a ocorrência das espécies de palmeiras são os relacionados às interações entre as espécies (Eiserhardt *et al.* 2011). Dentre elas, o principal é a dispersão das suas sementes. A dispersão é o único fator que determina a distribuição das palmeiras da escala local até a escala global (ver figura 4 em Eiserhardt *et al.* 2011). Em um estudo realizado por Svenning e colaboradores (2009) relataram que a distribuição de espécies de palmeiras nos Andes parece ser influenciada pela limitação de dispersão das espécies. Já foi relatado na literatura também que a mudança, causada pelo Homem, na composição dos dispersores de sementes pode levar a mudanças evolutivas rápidas no tamanho de sementes (Galetti *et al.* 2013) assim como mudanças no recrutamento de plântulas e na estrutura populacional de espécies de palmeiras (Galetti *et al.* 2006). E essas mudanças no nível populacional da planta, podem levar redução no tamanho populacional, possíveis extinções locais e alterações na área de distribuição dessas espécies. A estrutura da vegetação, mais especificamente o estágio sucessional, também é um importante fator que influencia a distribuição das espécies de palmeiras (Eiserhardt *et al.* 2011). Por exemplo, Arroyo-Rodríguez e colaboradores (2007) encontraram redução na densidade populacional da palmeira de sub-bosque *Astrocaryum mexicanum* em fragmentos florestais pequenos no sudeste do México. Os autores atribuíram essa redução ao efeito de borda, que eram áreas com o dossel florestal mais aberto, e também mudanças nas interações mutualísticas como a polinização e dispersão de sementes.

Outro fator importante na distribuição das palmeiras são os fatores históricos (Blach-Overgaard *et al.* 2010), como por exemplo a configuração dos continentes no passado (Eiserhardt *et al.* 2011) e o paleo-clima, principalmente o histórico de precipitação (Rakotoarinivo *et al.* 2013). Por fim, apesar da família Arecaceae ser relativamente bem estudada, poucos estudos investigaram como a competição, além da por luz, a polinização (Eiserhardt *et al.* 2011), os mecanismos de regeneração



e as especificidades de habitat influenciam a distribuição espacial das espécies dessa família. Outra questão importante é como o uso dessas espécies pelo Homem e a degradação do seu habitat podem alterar a sua distribuição. Essas parecem ser as principais lacunas de conhecimento sobre os fatores que determinam a distribuição das espécies de palmeiras. Com relação às lacunas do conhecimento ligadas aos mecanismos de regeneração e aos impactos do Homem, estes serão abordados de maneira mais detalhada a seguir.


Os estudos dos fatores que determinam e da própria distribuição das espécies se tornam ainda mais importantes frente ao cenário atual de mudanças climáticas. E o estudo da ecologia e distribuição das palmeiras nesse contexto de mudanças climáticas se torna muito importante, pois essa família tem uma íntima relação, e muitas vezes de dependência mútua, com os frugívoros (Galetti & Aleixo 1998), podem influenciar a estrutura da vegetação (Wang & Augspurger 2004) e muitos dos seus recursos sustentam populações Humanas (Eiserhardt *et al.* 2011; Shabani *et al.* 2012). Tais mudanças globais podem ter profundos impactos na expansão e contração na distribuição das espécies (Pearson & Dawson 2013). Para um exemplo de estudos envolvendo futuros cenários e espécies de palmeiras, ver Shabani *et al.* (2012). E dentro desse contexto, os “envelopes bioclimáticos” são modelos muito úteis para a identificação de possíveis mudanças na distribuição das espécies em futuros cenários (Pearson & Dawson 2013). Porém, esses modelos são falhos pois não incluem na sua elaboração as interações bióticas, mudanças evolutivas e a dispersão das espécies. Principalmente a dispersão das sementes que é um fator determinante para as espécies de palmeiras. Para mais detalhes ver Pearson & Dawson (2013).

Aqui nesse capítulo referente à mesa-redonda “Distribuição de palmeiras nas florestas tropicais: fatores determinantes” iremos abordar questões sobre os fatores determinantes na distribuição das espécies da família Arecaceae em áreas tropicais. O texto está dividido em tópicos que abordam de maneira mais detalhada questões relacionadas ao nicho de regeneração, influencia do clima, topografia, e do manejo e exploração na distribuição de espécies de palmeiras da América do Sul.

## Ecologia da Regeneração de Palmeiras

Os processos ecológicos que ocorrem durante o estágio da regeneração natural são de extrema relevância na determinação da distribuição, abundância e persistência das plantas nas comunidades vegetais (Luna & Moreno 2010; Marques *et al.* 2014). Segundo Grubb (1977), o nicho regenerativo de uma espécie consiste na expressão das condições necessárias para que haja uma grande chance de substituição entre indivíduos maduros de gerações diferentes nas florestas. Diferentes mecanismos constituem o nicho regenerativo das espécies, entre eles: produção e dispersão de sementes, germinação, estabelecimento e crescimento das plântulas. No entanto, as espécies apresentam amplitudes distintas do nicho regenerativo. Aquelas mais generalistas são capazes de se estabelecer em locais com uma grande heterogeneidade dos fatores ambientais, enquanto, as espécies com uma amplitude de nicho regenerativo mais restrita possuem uma alta especificidade de habitat (Donohue *et al.* 2010). Associado a amplitude do nicho, existe a capacidade das espécies de alterarem a expressão dos mecanismos de regeneração natural quando submetidas a diferentes pressões seletivas. Espera-se que espécies com maior capacidade de resposta frente a mudanças das condições ambientais do seu habitat tenham uma maior chance de persistência nas comunidades vegetais (Kim & Donohue 2013).

A grande heterogeneidade temporal e espacial dos fatores abióticos e bióticos que ocorre ao longo de gradientes altitudinais pode gerar respostas distintas dos diversos mecanismos da regeneração natural. Sabe-se que a relação entre o número e a massa da semente, o comportamento germinativo e a magnitude das interações bióticas variam com a altitude; o que pode ocasionar mu-



danças nos padrões de dispersão, no sucesso germinativo e de estabelecimento das plântulas ao longo do gradiente altitudinal (Guo *et al.* 2011; Qi *et al.* 2013; Spindelböck *et al.* 2013). Além disso, as condições climáticas das florestas localizadas em maiores altitudes são adversas para a germinação de sementes e o desenvolvimento de plântulas de diversas espécies, que conseqüentemente, terão uma distribuição restrita as áreas com menores elevações (Gatti *et al.* 2008). No Bioma Mata Atlântica, as palmeiras apresentam uma alta diversidade de espécies com diferentes padrões de distribuição e abundância ao longo de gradientes altitudinais. Sendo assim, este grupo é um ótimo objeto de estudo para avaliar como a amplitude do nicho regenerativo associado à capacidade de resposta das espécies frente às mudanças locais dos fatores abióticos e bióticos determinam o padrão de distribuição das palmeiras. Além disso, são úteis também para elaborar modelos de previsão sobre o padrão de distribuição com as mudanças climáticas globais.

Muitas palmeiras só apresentam a via de reprodução sexuada, o que torna o conhecimento sobre os seus mecanismos de regeneração natural de extrema importância. Atualmente, pouco se sabe sobre estes mecanismos para as palmeiras tropicais; a maioria dos estudos foi desenvolvido com espécies exóticas de alto valor econômico. Várias síndromes de dispersão são descritas para as palmeiras, entre elas, a barocoria e zoocoria que foram as mais frequentes e a anemocoria, a mais rara (Orozco-Segovia *et al.* 2003). De maneira geral, as palmeiras apresentam uma enorme variação no tamanho das suas semente (Orozco-Segovia *et al.* 2003), porém não há muitos estudos que investigaram a consequência desta variação no estabelecimento das plântulas em florestas tropicais (Pizo *et al.* 2006). Em relação aos fatores abióticos que influenciam a germinação, espera-se que as sementes das palmeiras sejam indiferentes a luz e que as condições ideais de temperatura estejam na faixa de 20-30°C (Orozco-Segovia *et al.* 2003). Até o momento, não há nenhum estudo que avaliasse o nicho germinativo desta família em relação à diferentes disponibilidades de água, porém, sabe-se que muitas palmeiras possuem sementes sensíveis à dessecação (Martins *et al.* 2003; Andrade 2001). A germinação de sementes em condições de inundação foi observada em uma palmeira com ocorrência em florestas alagadas, a *Geonoma brevispatha* (Gomes *et al.* 2006). Em relação ao tempo, a germinação de sementes das palmeiras é muito lenta devido a grande incidência de dormência morfofisiológica na família (Baskin & Baskin 2014). As condições ambientais e a quantidade de recursos necessários para o estabelecimento e o crescimento de plântulas e jovens de palmeiras é uma área de conhecimento muito pouco explorada e que ainda não permite nenhum tipo de generalização.

Frente a esta lacuna no conhecimento, estudos que abordem aspectos relativos aos mecanismos de regeneração das palmeiras são de extrema importância tanto para avaliar a sua relação com a distribuição das espécies como para propor planos de manejo sustentáveis e diretrizes para a conservação deste importante grupo vegetal para as florestas tropicais. Adicionalmente, investigar a amplitude do nicho regenerativo bem como a capacidade de resposta dos diferentes mecanismos de regeneração natural das espécies frente às distintas pressões seletivas presentes em gradientes altitudinais pode ser uma importante ferramenta para avaliar quantas e quais palmeiras estarão suscetíveis à extinção diante das mudanças climáticas em voga.

## Desafios ao manejo e uso sustentável de palmeiras

As palmeiras possuem importância econômica, social e cultural para as comunidades rurais. Por exemplo, no noroeste da América do Sul, 63% das 306 espécies de palmeiras que potencialmente existem na região são utilizadas de alguma forma por camponeses, em média com 12 usos diferentes por espécie (Macía *et al.* 2011). As palmeiras podem ser utilizadas como fonte de alimentos, óleos, materiais de construção, utensílios domésticos, fibras, lenha, materiais para rituais, e são também, utilizadas na arborização e paisagismo.

Excluindo-se a madeira destinada à construção, os demais produtos podem ser considerados Produtos Florestais Não-Madeiros (PFNM), quando são colhidos em ecossistemas naturais (De Beer & MacDermott 1996; Shackleton *et al.* 2011). O extrativismo de PFNM é uma importante fonte de subsistência, ou de renda, para famílias de camponeses e comunidades indígenas que vivem na zona rural. Além desta importância econômica e social, o extrativismo de PFNMs tem sido considerado uma estratégia de conservação, pois é uma atividade econômica que causa impactos ambientais potencialmente menores do que a conversão de florestas em monoculturas ou pastagens (Nepstad & Schwartzman 1992). Além disso, a comercialização dos PFNM pode ser um incentivo econômico para a conservação dos ecossistemas naturais, de onde os produtos são extraídos. Porém, em muitos sistemas de extrativismo há sobrexploração das populações das plantas sujeitas à coleta.

Os impactos do extrativismo de PFNM dependem da parte da planta que é extraída, das características de história de vida da planta (Ticktin 2004; Schmidt *et al.* 2011) e da intensidade de coleta que é praticada. Quando a coleta do PFNM causa a mortalidade de plantas reprodutivas – como o extrativismo de palmito da palmeira *Euterpe edulis* – o impacto potencial para as populações tende a ser muito maior do que o extrativismo de frutos, cuja coleta geralmente não causa a mortalidade de plantas já estabelecidas (Ticktin 2004; Schmidt *et al.* 2011; Sampaio & Santos 2014; *no prelo*).

Em geral, os frutos são os produtos mais utilizados e comercializados das palmeiras (Macía *et al.* 2011; Bernal *et al.* 2011). Atualmente, os frutos possuem potencial de mercado crescente devido à novas possibilidades de utilização na fabricação de cosméticos e de biodiesel, além de alimentos. Algumas espécies que produzem frutos de alto valor econômico são cultivadas em monoculturas, ou sistemas agroflorestais, como pupunha (*Bactris gasipae*), açai (*Euterpe oleracea*) e bacaba (*Oenocarpus bacaba*). O extrativismo de palmeiras como macaúba (*Acrocomia aculeata*), babaçu (*Attalea speciosa*) e butiá (*Butia eriosphata*) geralmente ocorre em populações espontâneas, que são mantidas em ambientes modificados pelo homem, como em pastagens, ou roças abandonadas. Para outras espécies, o cultivo é incipiente e o extrativismo é feito em populações que ocorrem em ecossistemas naturais, como por exemplo, o buriti (*Mauritia flexuosa*), coquinho-azedo (*Butia capitata*) e muru-muru (*Astrocaryum murumuru*).

Para estas palmeiras que possuem populações naturais sujeitas ao extrativismo, é importante estabelecer planos de manejo que contribuam para minimizar os impactos potenciais e aumentar a sustentabilidade ecológica dos sistemas de exploração. Tais planos de manejo já foram propostos para algumas espécies. Por exemplo, os frutos de buriti têm sido intensivamente coletados no Brasil central para a produção de óleos e doces, a partir da polpa dos frutos. A colheita de até 95% dos frutos de buriti que caem no chão durante a safra pode ser sustentável em longo prazo, principalmente, se as sementes, que não são aproveitadas, sejam retornadas às veredas após a remoção da polpa (Sampaio & Santos 2014; *no prelo*).

Ações de manejo tão simples quanto coletar as sementes no solo, sem danificar a planta reprodutiva; limitar a intensidade de coleta; e retornar as sementes para a floresta após a remoção da polpa, podem ser eficientes para minimizar os impactos ecológicos dos sistemas de extrativismo de frutos de palmeiras. Ao aumentar as chances de sustentabilidade ecológica, o extrativismo de frutos de palmeiras poderá contribuir efetivamente para a geração de renda, e incentivar a conservação de ecossistemas naturais. Porém, um dos principais desafios ainda é avaliar os efeitos da coleta de frutos na comunidade de animais frugívoros, que também dependem deste recurso (Moegenburg & Levey 2003; Galetti & Aleixo 1998) e verificar quais ações de manejo podem ser adotadas para minimizar esses impactos.

## Padrões fitogeográficos e climáticos das palmeiras da Bolívia e sua disseminação pelo homem

Como já relatado, os principais fatores que afetam direta ou indiretamente a distribuição geográfica da família Arecaceae são os fatores climáticos e edáficos. A Bolívia possui 90 espécies em 28 gêneros, destes, 64% do total (58 espécies) é usado pelo Homem. Dentre os usos, os tipos mais representados são frutos comestíveis (37 espécies), telhados para casas (32) e materiais de construção (26) (Moraes 2014). Baseado no conhecimento atual da taxonomia, o respaldo de coleções científicas de espécies, publicações científicas, o uso de ferramentas de sistemas de informação geográfica e a documentação acerca de espécies de palmeiras nativas da Bolívia, foram comparadas as áreas com maior riqueza potencial de palmeiras com lugares de dispersão feita pelo Homem para seis palmeiras cultivadas: *Acrocomia totai*, *Attalea princeps*, *A. speciosa*, *Bactris gasipaes*, *Euterpe longivaginata* e *Oenocarpus bataua*. Para os mapas preditivos foram incluídas sete variáveis climáticas da Worldclim, que são: BIO1 = temperatura média anual, BIO10 = temperatura média do quadrante mais quente, BIO11 = temperatura média do quadrante mais frio, BIO12 = precipitação anual, BIO15 = precipitação sazonal (Coeficiente de variação), BIO16 = precipitação do quadrante mais úmido e BIO17 = precipitação do quadrante mais seco. Para as unidades fitogeográficas da Bolívia foi seguido o sistema de classificação de Josse *et al.* (1997): Amazônia, Cerrado, Andes húmidos do C-N (ou Yungas), Chaco e Andes secos do C-S. O respaldo do enfoque da modelagem baseou-se no trabalho previamente aplicado para 87 espécies (Moraes *et al.* 2014) no qual manteve-se o número de espécies por cada unidade amostral (um pixel de 1 km<sup>2</sup>).

O sudeste da floresta úmida amazônica e os Yungas da Bolívia (vertente oriental dos Andes) concentram a maior riqueza de palmeiras com 70 e 54 espécies, respectivamente. Quase 16% do total de espécies estão representados em mais de três unidades fitogeográficas (Tabela 1); estas 14 palmeiras possuem um padrão variável de distribuição geográfica com predominância no Cerrado (14 espécies), Amazônia (12) e Yungas (8). O restante se distribui em 1-3, sendo que a maior parte (40 espécies) se encontra restrita a cada unidade.

Em relação ao comportamento frente aos padrões climáticos, mais de 70% estava associada a temperaturas superiores a 25°C e precipitação superior a 2.000 mm. A área do norte amazônico e a parte central dos Andes úmidos apresentam regimes de precipitação e umidade relativa em torno de 6 m de chuvas anuais, região esta conhecida como Chapare. Por essa tendência, a maior riqueza de palmeiras no N e NO da Bolívia poderia ser relacionada com as condições climáticas. As áreas com maior riqueza de espécies de palmeiras coincidem com padrões continentais que caracterizam esse grupo de plantas. Na Bolívia a distribuição na parte sul e ocidental de muitas espécies de palmeiras é representada em termos de padrões fitogeográficos ao nível continental do Neotrópico.

Os processos de seleção e uso de palmeiras pelas comunidades humanas para a colheita de produtos destinados a subsistência familiar e criação de animais domésticos estão modelando a distribuição geográfica de algumas espécies. Determinadas atividades socioeconômicas como produção extensiva também influencia de forma indireta a maior cobertura geográfica de determinadas espécies de palmeiras, como é o caso da pecuária (gado, equinos) que procura assegurar alimento para o gado, muitas vezes baseado em frutos e folhas jovens de algumas espécies (p.ex. *Acrocomia totai* e *Attalea princeps*).

Para a conservação das espécies de palmeiras, é necessário esforços para a manutenção das populações naturais e a prevenção da remoção de manchas de palmeiras existentes ainda em lugares de pastoreio, áreas de fazenda e até mesmo áreas de exploração madeireira (Tabela 2).

A comparação da distribuição modelada com os pontos de uso é diametralmente distinta (“natural sem uso”), sugerindo que as práticas de uso não respondem à maior probabilidade de presença

**Tabela 1.** Palmeiras nativas da Bolívia com ampla distribuição em mais de duas unidades fitogeográficas (modificado de Moraes *et al.* 2014). Presença: 1, ausência: 0. As unidades são baseadas em Josse *et al.* (1997).

	Cerrado	Amazônia	Andes húmidos do NC (Yungas)	Chaco	Andes secos do SC
<i>Acrocomia totai</i>	1	1	0	1	1
<i>Allagoptera leucocalyx</i>	1	1	0	1	0
<i>Attalea princeps</i>	1	1	1	0	0
<i>Bactris concinna</i>	1	1	1	0	0
<i>Bactris gasipaes</i>	1	1	1	0	0
<i>Bactris major</i>	1	1	0	1	0
<i>Copernicia Alba</i>	1	1	0	1	1
<i>Geonoma occidentalis</i>	1	1	1	0	0
<i>Geonoma densa</i>	0	1	1	0	1
<i>Mauritia flexuosa</i>	1	1	1	0	0
<i>Socratea exorrhiza</i>	1	1	1	0	0
<i>Syagrus cardenasii</i>	1	0	0	1	1
<i>Syagrus sancona</i>	1	1	1	0	0
<i>Trithrinax schizophylla</i>	1	0	0	1	1
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>

**Tabela 2.** Tipos de uso de palmeiras para colheita de seus produtos, mediante seleção de sementes, semeadura, proteção contra fogo, poda e manutenção de manchas de palmeiras.

	Seleção de sementes	Semeadura e plantações	Proteção contra fogo	Poda e colheita	Manutenção de manchas
<i>Acrocomia totai</i>	+	+			+
<i>Attalea princeps</i>	+	+		+	+
<i>Attalea speciosa</i>				+	+
<i>Bactris gasipaes</i>	+	+		+	+
<i>Euterpe longivaginata</i>			+		+
<i>Denocarpus bataua</i>	+	+	+	+	+

de cada espécie. A distribuição mais próxima a 1 (portanto com maior probabilidade de presença da espécie entre ambos mapas) sustenta essa ideia. Então é possível que o uso de cada espécie esteja relacionado mais com aspectos culturais e sociais do que ecológicos (abundância), respondendo mais a um tema de oportunidade: se está disponível (presença) e sabe se como pode ser usada, ela é usada.




## Agradecimento

À CAPES/FAPERJ pela bolsa de pós-doutorado PAPP (E-26/111.546/2010) da M.I.G.B. À FAPESP pela bolsa de pós-doutorado (2012/17475-9) a MBS. A Daniel Larrea e Susana Espinoza da Fundación Amigos de la Naturaleza em Santa Cruz pela modelagem das seis espécies de palmeiras sob gestão na Bolívia.

## Referências

- Andrade, A.C. 2001. The effect of moisture content and temperature on the longevity of heart of palm seeds (*Euterpe edulis*). **Seed Science and Technology** **29**: 171-182.
- Arroyo-Rodríguez, V., Aguirre, A., Benitez-Malvido, J. & Mandujano, S. 2007. Impact of rain forest fragmentation on the population size of a structurally important palm species: *Astrocaryum mexicanum* at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation* **138**: 198-206.
- Baskin, J.M. & Baskin, C.C. 2014. What kind of seed dormancy might palms have? **Seed Science Research** **24**: 17-22.
- Begon, M., Townsend, C. R. & Harper, J. L. 2006. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. Editora Artmed. 4ª edição.
- Bernal, R., Torres, C., García, N., Isaza, C., Navarro, J., Vallejo, M.I., Galeano, G. & Balslev, H. Palm management in South America. **Botanical Review** **77**:607-646.
- Blach-Overgaaard, A., Svenning, J.C., Dransfield, J., Greve, M. & Balslev, H. 2010. Determinants of palm species distributions across Africa: the relative roles of climate, non-climatic environmental factors, and spatial constraints. **Ecography** **33**: 380-391.
- De Beer, J.H. & McDermott, M. 1989. **The economic value of non-timber forest products in South East Asia**. The Netherlands Committee for IUCN, Amsterdam.
- Donohue, K.; Casas, R.R.; Burghardt, L.; Kovach, K. & Willis, C.G. 2010. Germination, postgermination adaptation and species ecological ranges. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics** **41**: 293-319.
- Eiserhardt, W.L., Svenning, J.C., Kissling, W.D. & Balslev, H., 2011. Geographical ecology of the palms (Arecaceae): determinants of diversity and distributions across spatial scales. **Annals of Botany** **108**: 1391-1416.
- Galetti, M. & Aleixo, A. 1998. Effects of palm heart harvesting on avian frugivores in the Atlantic rain forest of Brazil. **Journal of Applied Ecology** **35**: 286-293.
- Galetti, M., Donatti, C.I., Pires, A.S., Guimarães, P.R. & Jordano, P. 2006. Seed survival and dispersal of an endemic Atlantic forest palm: the combined effects of defaunation and forest fragmentation. **Botanical Journal of the Linnean Society** **151**: 141-149.
- Galetti, M., Guevara, R., Côrtes, M.C., Fadini, R., Von Matter, S., Leite, A.B., Labecca, F., Ribeiro, T., Carvalho, C.S., Collevatti, R.G., Pires, M.M., Guimarães Jr., P.R., Brancalion, P.H., Ribeiro, M.C. & Jordano, P. 2013. Functional extinction of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. **Science** **340**: 1086-1090.
- Gatti, M.G., Campanello, P.I., Montti, L.F. & Goldstein, G. 2008. Frost resistance in the tropical palm *Euterpe edulis* and its pattern of distribution in the Atlantic Forest of Argentina. **Forest Ecology and Management** **256**: 633-640.
- Gatti, M.G.; Campanello, P.I.; Montti, L.F. & Goldstein, G. 2008. Frost resistance in the tropical palm *Euterpe edulis* and its pattern of distribution in the Atlantic Forest of Argentina. **Forest Ecology and Management** **256**: 633-640.
- Gomes, P.B.; Válio, I.F.M. & Martins, F.R. 2006. Germination of *Geonoma brevispatha* (Arecaceae) in laboratory and its relation to the palm spatial distribution in a swamp forest. **Aquatic Botany** **85**: 16-20.
- Grubb, P. J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of regeneration niche. **Biological Review** **52**: 107-145.

- Guo, H.; Mazer, S.J. & Du, G. 2010. Geographic variation in seed mass within and among nine species of *Pedicularis* (Orobanchaceae): effects of elevation, plant size and seed number per fruit. **Journal of Ecology** **98**: 1232-1242.
- Jones, D.L. 1995. **Palms throughout the world**. Smithsonian Books.
- Josse, C., Navarro, G., Encarnación, F., Tovar, A., Comer, P., Ferreira, W., Rodríguez, F., Saito, J., Sanjurjo, J., Dyson, J., Rubin de Celis, E., Zárate, R., Chang, J., Ahuite, M., Vargas, C., Paredes, F., Castro, W., Maco, J. & Reátegui, F. 2007. Sistemas ecológicos de la cuenca amazónica de Perú y Bolivia. **Clasificación y mapeo**. Arlington, Virginia, NatureServe.
- Kim, E. & Donohue, K. 2013. Local adaptation and plasticity of *Erysimum capitatum* to altitude: implications for response to climate change. **Journal of Ecology** **101**: 796-805.
- Luna, B. & Moreno, J.M. 2010. Range-size, local abundance and germination niche-breadth in Mediterranean plants of two life-forms. **Plant Ecology** **210**: 85-95.
- Macía, M.J., Armesilla, P.J., Cámara-Leret, R., Paniagua-Zambrana, N., Villalba, S., Balslev, H. & Pardo-de-Santayana, M. 2011. Palm uses in northwestern south america: a quantitative review. **Botanical Review** **77**:462-570.
- Marques, A.R.; Atman, A.P.F.; Silveira, F.A.O. & Lemes-Filho, J.P. 2014. Are seed germination and ecological breadth associated? Testing the regeneration niche hypothesis with bromeliads in a heterogeneous neotropical montane vegetation. **Plant Ecology** **215**: 517-529.
- Martins, C.C.; Bovi, M.L.A. & Nakagawa, J. 2003. Desiccation effects on germination and vigor of King palm seeds. **Horticultura Brasileira** **21**: 88-92.
- Moegenburg, S.M. & Levey, D.J. 2003. Do frugivores respond to fruit harvest? An experimental study of short-term responses. **Ecology** **84**:2600-2612.
- Moraes R., M. (ed.). 2014. **Palmeras útiles de Bolivia. Las especies mayormente aprovechadas para diferentes fines y aplicaciones**. La Paz, Herbario Nacional de Bolivia - Universidade Mayor de San Andrés, Plural editores.
- Moraes R., M., Ríos-Uzeda, B., Moreno, L. R. Huanca-Huarachi, G. & Larrea-Alcázar, D. 2014. Using potential distribution models for patterns of species richness, endemism, and phytogeography of palm species in Bolivia. **Tropical Conservation Science** **7**: 45-60.
- Nepstad, D.C. & Schwartzman, S. 1992. **Non-timber products from tropical forests: evaluation of a conservation and development strategy**. New York Botanical Garden, New York.
- Orozco-Segovia, A.; Batis, A.I.; Rojas-Aréchiga, M. & Mendoza, A. 2003. Seed biology of palms: a review. **Palms** **47**: 79-94.
- Pearson, R.G. & Dawson, T.P. 2013. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography** **12**: 361-371.
- Pizo, M.A.; Von Allmen, C.V. & Morellato, L.P. 2006. Seed size variation in the palm *Euterpe edulis* and the effects of seed predators on germination and seedling survival. **Acta Oecologica** **29**: 311-315.
- Qi, W.; Guo, S.; Chen, X.; Cornelissson, J.H.C.; Bu, H.; Du, G.; Cui, X.; Li, W. & Liu, K. 2013. Disentangling ecological, allometric and evolutionary determinants of the relationship between seed mass and elevation: insights from multiple analyses of 1355 angiosperm species on the eastern Tibetan Plateau. **Oikos** **000**: 001-010.
- Rakotoarinivo, M., Blach-Overgaard, A., Baker, W.J., Dransfield, J. Moat, J. & Svenning, J-C. 2013. Paleoprecipitation is a major determinant of palm species richness patterns across Madagascar: a tropical biodiversity hotspot. **Proceedings of Royal Society** **280**: 1-9.
- Salm, R., Salles, N.V., Alonso, W.J. & Schuck-Paim, C. 2007. Cross-scale determinants of palm species distribution. **Acta Amazonica** **37**: 17-26.
- Schmidt, I. B., Mandle, L., Ticktin, T. & Gaoue, O. G. 2011. What do matrix population models reveal about the sustainability of non-timber forest product harvest? **Journal of Applied Ecology** **48**:815-826.
- Shabani, F., Kumar, L. & Taylor, S. 2012. Climate Change Impacts on the Future Distribution of Date Palms: A Modeling Exercise Using CLIMEX. **Plos One** **7**.

- 
- Shackleton, C., Delang, C.O., Shackleton, S. & Shanley, P. 2011 . Non-timber Forest Products: Concept and Definitions. In: Shackleton, S.; Shackleton, C.; Shanley, P. (ed.) **Non-timber forest products in the global context**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Silva Matos, D.M. & Alves, L.F. 2008. Palm species distribution and soil moisture in a swampy area of the Atlantic forest, South-eastern Brazil. **Ecotropica 14**: 69-74.
- Spindelböck, J.P.; Cook, Z.; Daws, M.I.; Heegaard, E.; Marens, I.E. & Vandvik, V. 2013. Conditional cold avoidance drives between-populations variation in germination behaviour in *Calluna vulgaris*. **Annals of Botany 112**: 801-810.
- Svenning JC. 2001. On the role of microenvironmental heterogeneity in the ecology and diversification of neotropical rain-forest palms (Arecaceae). **Botanical Review 67**: 1-53.
- Svenning, J.C., Harlev, D., Sorensen, M. & Balslev, H. 2009. Topographic and spatial controls of palm species distributions in a montane rain forest, southern Ecuador. **Biodiversity and Conservation 18**: 219-228.
- Ticktin, T. 2004. The ecological implications of harvesting non-timber forest products. **Journal of Applied Ecology 41**:11-21.
- Wang, Y.H. & Augspurger, C. 2004. Dwarf palms and cyclanths strongly reduce Neotropical seedling recruitment. **Oikos 107**: 619-633.

# FUTURE CHALLENGES IN FERN ECOLOGY

**Klaus Mehltreter**

Instituto de Ecología, Red de Ecología Funcional, Xalapa Veracruz, Mexico.

[kmehltreter@gmail.com](mailto:kmehltreter@gmail.com)

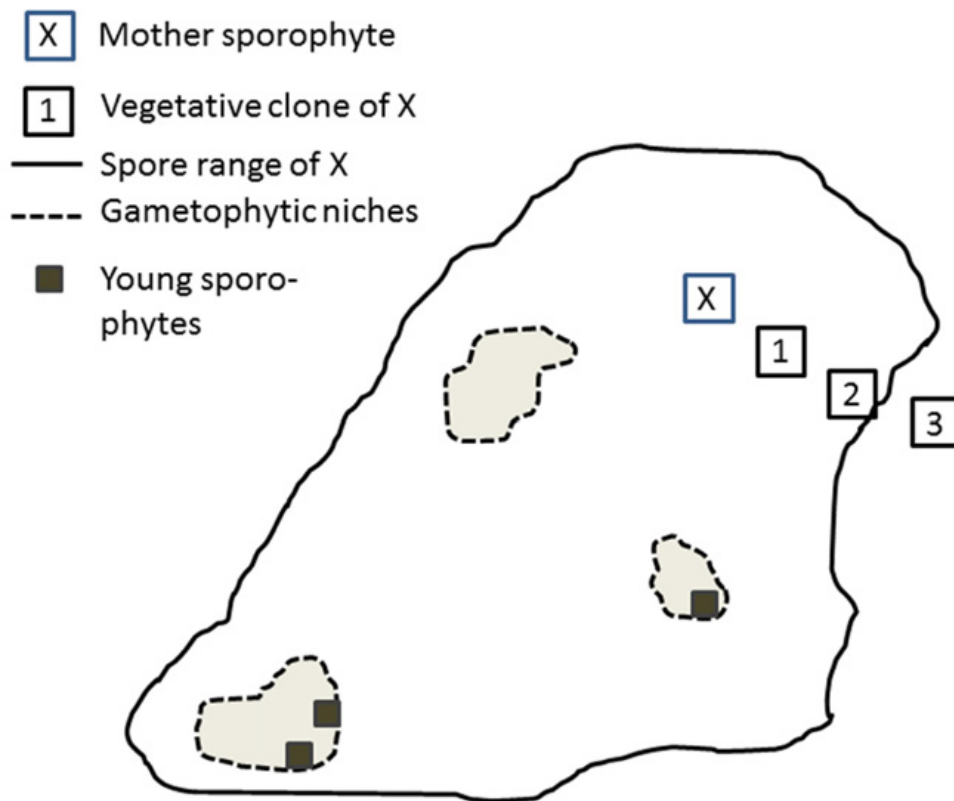
## Introduction

For the last 250 years, fern research was primarily focused on systematics, taxonomy and morphology and more recently on molecular phylogenetics as well as floristic and ethnobotanic studies. Only about 4% of annual fern publications are indexed as ecological studies (Mehltreter & Hooper 2013). Fern ecology is however experiencing an increasing interest because the number of annual publications triplicated between 2000 and 2010. Mehltreter & Hooper (2013) compiled the annual review of pteridological research and Mehltreter *et al.* (2010) provided an overview of the ecological literature of ferns and lycophytes.

The new findings are a first step for a better ecological understanding of ferns but there are many issues to resolve. In the following, I will cycle through the life stages of a fern to resume quickly our current knowledge and to indicate future challenges in fern ecology.

## Ecological life cycle of ferns

The life cycle of ferns can be broken down into three stages with each playing a very different role in the performance of a fern species: the spore, the gametophyte and the sporophyte. The spore plays the dominant role in fern biogeography, because it is the propagule that determines the potential dispersal and biogeographical limits of a fern species (Fig. 1). Sites that are not reached by spore dispersal cannot be colonized by ferns. The ecological requirements of the gametophytes further limit ferns to specific microhabitats within the potential range of spore dispersal. Only some microhabitats or "safe sites" (Cousens *et al.* 1988) allow spores to germinate and gametophytes to develop and to reproduce successfully. Habitats that do not fulfill at least temporarily the ecological requirements of gametophytes cannot be occupied by the next generation, the fern sporophyte, unless the sporophyte reproduces by means of vegetative reproduction or simply grows with a creeping rhizome into adjacent habitats that would have been unsuitable for the gametophyte (Fig. 1). Consequently, the gametophyte determines the ecological niche breadth of ferns that reproduce only sexually, whereas species with vegetatively reproducing sporophytes or creeping and branching rhizomes can escape this gametophytic niche (Fig. 1). The success of some invasive fern species is apparently the consequence of their creeping rhizomes (e.g. *Pteridium aquilinum*) or large, climbing leaves (e.g. *Lygodium microphyllum*, Robinson *et al.* 2010), which allows them to develop in open, sunny habitats at a considerable distance from their original gametophytic microhabitat. Once established in its place, the performance of the perennial fern sporophyte depends on water, nutrients, and light, on its competitive success with other plants and on its tolerance to herbivores and fungal attacks in a very similar way than angiosperms. When the fern sporophyte reaches its reproductive stage, spores may be released continuously or seasonally by monomorphic or dimorphic leaves and the life cycle starts anew.



**Figure 1.** Theoretical biogeography of a single fern sporophyte (X) that releases spores covering a potential range of dispersal depending on environmental conditions such as wind, slope and surrounding vegetation. Gametophytes develop only within a very small subunit of the range of spore dispersal (solid line) and even fewer young sporophytes (black squares) will develop within these gametophytic niches (shaded area). Vegetative clones of the sporophyte (1-3) or ferns with creeping rhizomes are able to colonize sites outside the range of spore dispersal and gametophytic niches.

## Spore dispersal

Fern spores have been assumed to be dispersed by wind alone with exception of some aquatic, riparian and mangrove ferns that are also dispersed by water (Sharpe *et al.* 2010). However, some authors investigated possible ways of spore dispersal by animals. Short-distance dispersal might be possible by slugs, because some fern spores are still viable after passing the digestive tract of slugs (Boch *et al.* 2013). Long distance dispersal of spores by fern-feeding bats have been discussed recently by Sugita *et al.* (2013). Both findings should lead us to reinvestigate the question of how many fern species can be potentially endozoochorous or exozoochorous, even if this dispersal mechanism may occur only eventually. The spores of *Lecanopteris mirabilis* possess on their surface filaments that supposedly play a role in their dispersal by ants (Tryon 1985). Animal pollinated flowering plants produce pollen with sticky pollenkitt to increase the adherence to their pollinators and the surface ornamentation of pollen plays an important part in its attachment to the flower stigma (Hesse & Ehrendorfer 1990). No pollenkitt has been reported for fern spores, but their incredibly diverse surface ornamentation may well play a role in their adherence to animal fur and feather. Tryon (1990) found a correlation between fern spore ornamentation and habitat. In *Asplenium*, epiphytic species had more frequently echinate or reticulate spores than terrestrial species. Perhaps these spore types stick easier to tree barks. Further investigations on the adherence of fern spores to tree barks and animals may still provide some surprising results.

## Gametophyte ecology

Ferns do not possess a single type of green, cordiform, short-lived gametophytes but a variety of strap and ribbon-shaped as well as gemmiferous gametophytes that can be longer-lived to increase their chances for cross-fertilization (Farrar *et al.* 2008). Longer-lived gametophytes occur especially in epiphytic ferns. Several independent fern lineages adapted to the epiphytic habitat, which is characterized by a strong daily cycle of microclimatical changes and a lack of soil substrate. Whereas some epiphytic fern species are poikilohydric and their sporophytes tolerate daily periods of desiccation to recover during the night or after rain from water stress (e.g. Hymenophyllaceae), other species accumulate humus with modified niche-leaves (e.g. *Drynaria*, *Platycterium*), store nutrients in their rhizomes (e.g. *Phlebodium*), or perform CAM photosynthesis (e.g. *Pyrrosia*) to deal with a shortage of water and nutrients (Hietz 2010). Some epiphytic ferns also change their functional traits during their ontogenetic development. Younger plants of *Asplenium auritum* can establish under harsh environmental conditions, because they are desiccation tolerant, whereas larger plants that are no longer desiccation tolerant, reduce the risk of desiccation because of their heavier leaves and fewer stomata (Testo & Watkins 2012). Morphological changes of leaves during the ontogenetic development of ferns have been found in aquatic (e.g., *Marsilea*), hemiepiphytic (e.g. *Lomariopsis*; Holttum 1978) and terrestrial genera (e.g., *Pteris*; Fig. 2). Allsopp (1965) showed that changes within the heteroblastic leaf series are the consequence of carbohydrate availability, but the possible functional changes of these heteroblastic leaf series on transpiration, desiccation tolerance or photosynthesis have not been investigated (Fig. 2, Sharpe & Mehltreter 2010).

The future challenge will be to investigate the adaptations of the gametophytes of those epiphytic species with such incredibly well adapted fern sporophytes. For instance, xerophytic ferns that have to survive seasonal droughts are often apogamous, i.e. they produce sporophytes from vegetative gametophytic cells rather than from a zygote, because apogamy does not require water for the sperm to swim to an egg cell. Consequently, we may ask how many epiphytic ferns are apogamous.



**Figure 2.** Heteroblastic leaf series in the terrestrial *Pteris altissima*. A) youngest feathery leaves with more skeletonized blade, B) intermediate leaf with feathery basal part and extended apical part, C) oldest leaf with extended blade.

## Sporophyte phenology

Phenological studies of ferns during the last 20 years have drawn the following main conclusions: Ferns may be reproducing seasonally although they do not depend on pollinators or animal dispersers. Seasonal reproduction of ferns is mainly the consequence of reduced water availability during a dry season in the tropics or a cold season in the temperate regions (Sharpe & Mehltreter 2010). However, some fern species have unexpected intricate patterns of leaf exchange and reproduction. For example, fertile leaves of *Cibotium taiwanense* do not shed their spores until the following year (Chiou *et al.* 2001). The causes of this delay in spore release are unclear. Another example is the deciduous tree fern *Alsophila firma* in Mexico, which is leafless during part of the rainy season, supposedly to escape possible infestation of herbivores (Mehltreter & García-Franco 2008).

Most phenological studies try to relate three climatic parameters with fertility: temperature, rainfall and day length (Mehltreter & Palacios-Rios 2003). Because these three parameters are typically correlated, i.e. an increasing day length in spring results in higher day temperatures and often increasing summer rainfall in the tropics, it is difficult to separate the impact of each of these parameters. Laboratory studies in climate chambers might provide novel insights into the impact of each parameter by keeping two parameters constant while modifying the third. Experiments should investigate mainly dimorphic species, because they are commonly more seasonal than monomorphic species. For instance, Harvey & Caponetti (1972) showed that *Osmunda cinnamomea* produced sporangia *in vitro* when exposed to decreasing photoperiods and reached highest levels of fertility in total darkness and increasing levels of sucrose. However, these laboratory results do not explain why *O. cinnamomea* reproduces in North America during early summer, when photoperiods are increasing.

However, only a fraction of adult fern plants will be triggered by climatic factors to initiate spore production. So, what are the plant characteristics that determine the susceptibility to respond to those climatic triggers? Clearly, plant size is one characteristic that is correlated with plant fertility, but even the largest ferns in a population may not reproduce each year. Their nutrient status might be decisive for a plant to remain sterile or to become fertile.

At least four types of reproduction patterns can be recognized in ferns (Table 1). Almost all ferns are perennial and iteroparous, i.e. plants that reproduce several times after reaching a minimum size of reproduction. Tree ferns typically need several years to become fertile for the first time, but once they reach the mature stage they often stay fertile the rest of their life (Table 1, Type A1, K. Mehltreter, pers.obs.). Smaller herbaceous fern species may follow the same phenological pattern but reach faster the mature stage at the expense of a shorter lifespan (Table 1, Type A2, Harper & White 1974). However, some individuals of fern species do not reproduce each year but every second or third year or in some unpredictable pattern. This means that those plants did not respond to the environmental trigger or that they cannot afford the cost of reproduction. Typically, those species have dimorphic leaves that may produce considerably more spores than the fertile leaves of monomorphic species. Leaf dimorphism has developed in several fern lineages (e.g. *Blechnum*, *Bolbitis*, *Elaphoglossum*, *Olfersia*) apparently to economize costs of leaf construction, because fertile leaves have a reduced lamina, and to increase the range of spore dispersal, because fertile leaves are frequently taller than sterile leaves. Fertile leaves are mainly shorter-lived than sterile leaves, and die shortly after spore release (Sharpe & Mehltreter 2010).

In the dimorphic mangrove fern *Acrostichum danaeifolium*, a fertile leaf produces sporangia on its entire lower surface, whereas the monomorphic *Thelypteris dentata* produces sporangia on only a small fraction of its lower surface. Because of the lower cost of spore production per leaf, the latter species can continuously produce some sporangia on each new leaf (Table 1; Type A2), whereas some of the dimorphic species apparently need to recover from this reproductional effort (Table 1; Types B1 and B2).



**Table 1.** Types of reproduction in ferns depending on annual spore production. F=Fertile, S= Sterile. In this theoretical example, A1, B1 and B2 are assumed to start spore production in the sixth year and live for 25 years.

Type of reproduction	Year		Examples
	1	2-5	
A1	SSSSS	FFFFFFFFFFFFFFFFFFFF	Tree ferns
A2	S	FFFFFFFF	Small herbaceous ferns
B1	SSSSS	FFSSFFSSFFSSFFSSFF	Hemiepiphytic ferns
B2	SSSSS	FSFFSSFFSSFFSFFFF	Mangrove ferns

Some evidence for this interpretation is the increasing number of fertile leaves per year that are produced by larger individuals of *A. danaeifolium* (Table 1; Type B2; Mehltreter & Palacios-Rios 2003), whereas smaller fertile individuals still pause the production of fertile leaves to recover from this effort (Table 1; Type B1). To understand the reason why some species and plant individuals pause fertile leaf production and others do not, we have to estimate the cost of spore production, which requires three types of data: the amount of spores produced by each leaf or plant individual, the average spore mass and nutrient composition of a single spore. Historically, analyses of the chemical composition of spores were often restricted to qualitative tests of a few components (e.g., Schneider & Pryer 2002). Spore mass has only been measured for *Ceratopteris richardii* (Hickok & Warne 1998), and to my knowledge the atomic spore composition has been reported exclusively for *Onoclea sensibilis* (Wayne & Hepler 1985). Consequently, an estimate of the cost of spore production for different species is still difficult to achieve. However, if the atomic composition of *Onoclea* spores would be representative for other ferns as well, spore production in large amounts would be expensive, because they are rich in N (4.59% of dry weight), P (0.82%) and K (0.70%, Wayne & Hepler 1985). However, we cannot assume that *Onoclea* spores would be representative for all ferns, because they are green and short-lived. A future challenge would be to estimate the cost of spore production for more species of different fern groups and habitats.

## Conclusion

The future challenges in fern ecology are to respond ecological questions of all life stages including spore dispersal, gametophyte ecology and phenology of sporophytes. Long term studies, comparative approaches of several populations of the same species, and coverage of a larger number of species and habitats are necessary to face these challenges.

## Acknowledgments

Research was funded by the Instituto de Ecología, A.C. (project 20030-10796).

## References

- Allsopp, A. 1965. Heteroblastic development in cormophytes. Pp. 1172–1221. In: Ruhland, W. (Ed.). **Handbuch der Pflanzenphysiologie**. Berlin: Springer.
- Boch, S.; Berlinger, M.; Fischer, M.; Knop, E.; Nentwig, W.; Türke, M. & Prati, D. 2013. Fern and bryophyte endozoochory by slugs. **Oecologia** **172**: 817–822.



- Chiou, W.L.; Lin, J.C. & Wang, J.Y. 2001. The phenology of *Cibotium taiwanense* (Dicksoniaceae). **Taiwan Journal of Forest Science 16**: 209-215.
- Cousens, M.I.; Lacey, D.G. & Scheller, J.M. 1988. Safe sites and the ecological life history of *Lorinseria areolata*. **American Journal of Botany 75**: 797-807.
- Farrar, D.R.; Dassler, C.; Watkins, J.E., Jr. & Skelton, C. 2008. Gametophyte ecology. Pp. 222-256. In: Ranker, T. A. & Haugler, C. H. (Eds.). **Biology and evolution of ferns and lycophytes**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harper, J.L. & White, J. 1974. The demography of plants. **Annual Review of Ecology and Systematics 5**: 419-463.
- Harvey, W.H. & Caponetti, J. 1972. *In vitro* studies on the induction of sporogenous tissue on leaves of Cinnamon fern. I. Environmental factors. **Canadian Journal of Botany 50**: 2673-2682.
- Hesse, M. & Ehrendorfer, F. (Eds.) 1990. **Morphology, development, and systematic relevance of pollen and spores**. Berlin, Springer.
- Hickok, L.G. & Warne, T.R. 1998. Laboratory investigations with C-Fern™ (*Ceratopteris richardii*). Pp. 143-176. In: Karcher S. J. (Ed.). **Tested studies for laboratory teaching** Vol. 19. Proceedings of the 19th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE).
- Hietz, P. 2010. Fern adaptations to xeric environments. Pp. 140-176. In: Mehltreter, K., Walker, L.R. & Sharpe, J.M. (Eds.). **Fern ecology**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Holttum, R.E. 1978. *Lomariopsis* group. **Flora Malesiana, Series 2, Pteridophyta 1**:255-330.
- Mehltreter, K. & Palacios-Rios, M. 2003. Phenological studies of *Acrostichum danaeifolium* (Pteridaceae, Pteridophyta) at a mangrove site on the Gulf of Mexico. **Journal of Tropical Ecology 19**: 155-162.
- Mehltreter, K. & García-Franco, J.G. 2008. Leaf phenology and trunk growth of the deciduous tree fern *Alsophila firma* (Baker) D. S. Conant in a lower montane Mexican forest. **American Fern Journal 98**: 1-13.
- Mehltreter, K.; Walker, L.R. & Sharpe, J.M. 2010. **Fern ecology**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mehltreter, K. & Hooper, E.A. (Comps.). 2013. **Annual Review of Pteridological Research 26**: 1-102.
- Robinson, R., Sheffield, E. & Sharpe, J. M. 2010. Problem ferns: their impact and management. Pp. 255-322. In: Mehltreter, K., Walker, L.R. & Sharpe, J.M. (Eds.). **Fern ecology**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schneider, H. & Pryer, K.M. 2002. Structure and function of spores in the aquatic heterosporous fern family Marsileaceae. **International Journal of Plant Sciences 163**: 485-505.
- Sharpe, J. M., Mehltreter, K. & Walker, L. R. 2010. Ecological importance of ferns. Pp. 1-21. In: Mehltreter, K., Walker, L.R. & Sharpe, J.M. (Eds.). **Fern ecology**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sharpe, J.M. & Mehltreter, K. 2010. Ecological insights from fern population dynamics. Pp. 61-110. In: Mehltreter, K., Walker, L.R. & Sharpe, J.M. (Eds.). **Fern ecology**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sugita, N.; Ootsuki, R.; Fujita, T.; Murakami, N. & Ueda, K. 2013. Possible spore dispersal of a Bird-nest fern *Asplenium setoi* by Bonin flying foxes *Pteropus pselaphon*. **Mammal study 38**: 225-229.
- Testo, W. L. & Watkins, J.E., Jr. 2012. Influence of plant size on the ecophysiology of the epiphytic fern *Asplenium auritum* (Aspleniaceae) from Costa Rica. **American Journal of Botany 99**:1840-1846.
- Tryon, A.F. 1985. Spores of myrmecophytic ferns. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 86B**: 105-10.
- Tryon, A.F. 1990. Fern spores: evolutionary levels and ecological differentiation. **Plant Systematics and Evolution, Suppl. 5**: 71-79.
- Wayne, R. & Hepler, P.K. 1985. The atomic composition of *Onoclea sensibilis* spores. **American Fern Journal 75**: 12-18.

# AS AMEAÇAS DE ESTRESSORES LOCAIS E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS AOS BANCOS DE RODOLITOS BRASILEIROS – DESAFIOS PARA A PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO E FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

**Paulo Horta<sup>1</sup>, José Bonomi Barufi<sup>1</sup>, Leonardo Rorig<sup>1</sup>,  
Ana Claudia Rodrigues<sup>1</sup>, José Marcos de Castro Nunes<sup>2</sup>,  
Fernando Scherner<sup>1</sup>, Sonia Pereira<sup>3</sup>, Pablo Riul<sup>4</sup>, Tito Lotufo<sup>5</sup>,  
Ellie Bergstrom<sup>1</sup>, Letícia Peres<sup>1</sup>, Marina Sissini<sup>1</sup>, João Rosa<sup>1</sup>,  
Pamela Munoz<sup>1</sup>, Vanessa Freire<sup>1</sup>, Eduardo Bastos<sup>1</sup>  
& Marcia Figueiredo<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Botânica, Curitiba, Paraná, Brasil.  
[pahorta@hotmail.com.br](mailto:pahorta@hotmail.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia, Departamento de Botânica, Salvador, Bahia, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Botânica, Recife, Pernambuco, Brasil.

<sup>4</sup>Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Ecologia, João Pessoa, Brasil.

<sup>5</sup>Universidade Federal do Ceará, Departamento de Zoologia, Fortaleza, Ceará, Brasil.

<sup>6</sup>Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

## Introdução

As algas calcárias não articuladas compreendem cerca de 600 espécies e estão amplamente distribuídas em todos os oceanos (Foster 2001), desde regiões tropicais até regiões polares e encontram-se da zona entre marés até 268 m de profundidade nas Bahamas (Littler *et al.* 1986). Compreendem o terceiro grupo mais diverso entre as rodófitas dos mares atuais (Brodie & Zuccarello 2007; Guiry & Guiry 2013). Caracterizam-se por depositar carbonato de cálcio na forma de calcita em suas paredes celulares, mineral que chega a perfazer 90% do peso seco destas algas (Woelkerling *et al.* 1993; Oliveira 1997) e que garante baixa predação por herbívoros e, por outro lado, uma boa preservação no registro fóssil.

No litoral brasileiro, especialmente no litoral do Espírito Santo e cadeia Vitória-Trindade (Amado Filho *et al.* 2012), estes organismos formam extensos bancos de nódulos calcários sobre o fundo arenoso, denominados tradicionalmente como bancos de rodolitos. Nestes ambientes da plataforma continental, que variam de poucos a dezenas de metros, as formações construídas por estes organismos representam substrato e abrigo para uma inestimável biodiversidade, por representarem a maior biofábrica de carbonatos do Atlântico Sul, têm papel chave na manutenção de produtos e

serviços ecossistêmicos de valor socio-ambiental estratégico e vital para o nosso país e planeta. Desta forma, são foco de estudos com interesses diversos que vão da reconstrução de ambientes do passado (Aguirre *et al.* 2000), avaliação de relações ecológicas atuais (Littler 1972), e especialmente aquelas relacionadas ao futuro considerando os cenários vinculados às mudanças climáticas vastamente discutidas nos dias atuais (Hall-Spencer *et al.* 2008; Martin *et al.* 2009).

O extraordinário depósito de carbonatos representado pelos bancos do litoral Brasileiro (Testa & Bosence 1999; Amado Filho *et al.* 2012), os coloca em posição de destaque nas discussões relativas às mudanças climáticas. Pois além de representarem potencial ambiental de sequestro e deposição de carbono (Oliveira 1996) devem participar da regulação da alcalinidade da água dos oceanos. Desta forma o presente manuscrito, construído no âmbito do grupo de trabalho da Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros (Rebentos), tem por objetivo apresentar o resultado das discussões do respectivo grupo de trabalho no que se refere aos impactos dos fatores relacionados às mudanças climáticas e suas relações com estressores locais, como a poluição urbana ou industrial. Discutimos ainda as variações observadas na ecofisiologia destes organismos, e espécies associadas, quando são submetidas a condições variadas de estresse ambiental, fundamentados em revisão da bibliografia e em dados gerados pelo nosso grupo. Neste processo, ressaltamos prioridades de ação/financiamento para a produção do conhecimento estratégico e formação de recursos humanos no âmbito da graduação e pós-graduação no Brasil. Consideramos ainda que para a consolidação destas demandas carecemos de infraestrutura institucionalmente nacionalizada com financiamento de longo prazo. Estes esforços de monitoramento e experimentação com os bancos de rodolitos e as espécies chaves responsáveis por sua estrutura espaço/temporal devem produzir resultados robustos para que seus desdobramentos na tomada de decisão da gestão costeira tenham abrangências e continuidade necessárias para o sucesso de manejo e conservação destes ambientes.

## Fontes de variabilidade espaço/temporal

Os bancos de rodolitos representam formações biologicamente construídas, sendo, portanto, o grau de complexidade destes ambientes, ou a dinâmica das espécies ou da comunidade, determinados por fatores que em linhas gerais influenciam a biologia dos organismos construtores e que variam naturalmente, espaço temporalmente. Fatores como a disponibilidade de luz e temperatura, que podem ser tradicionalmente relacionados, respectivamente, a variabilidade vertical e latitudinal, ou ainda, neste último caso, à variabilidade temporal, influenciam na estrutura e composição de suas comunidades associadas (Dias & Villaça 2012). As áreas mais rasas de 05 a 10 m de profundidade, respectivamente no sul e nordeste do Brasil, apresentaram-se com floras relativamente mais abundantes. A redução de biomassa, reportada para as áreas mais profundas, de 15 a 20 m, foi atribuída à consequente menor disponibilidade de luz, que especialmente no inverno, é um fator limitante nestas áreas costeiras onde a turbidez é elevada neste período (Riul *et al.* 2009; Pascelli *et al.* 2013). Além dos fatores abióticos, a herbivoria possui importante influência na estruturação da comunidade, como descrito por Scherner *et al.* (2010), que atribuem significativa redução de biomassa de epífitas devido à presença de mesoherbívoros.

Os esforços realizados no litoral Brasileiro nos últimos anos, que revelam diferentes nuances destes ambientes dos extremos leste de nosso litoral paraibano (Riul *et al.* 2009), passando pelo Litoral norte da Bahia (Alves 2012; Andrade 2012), indicam que estes ambientes apresentam comunidades mais abundantes e diversas no litoral do sul da Bahia e costa do Espírito Santo (Amado Filho *et al.* 2012), enquanto as suas menores biomassas são observadas no litoral de Santa Catarina (Pascelli *et al.* 2013).

As respostas distintas às respectivas condições ambientais são tradicionalmente atribuídas à plasticidade fenotípica das diferentes populações, até então identificadas considerando seus aspec-

tos morfo/anatômicos. Entretanto, nos últimos anos se multiplicam as evidências moleculares indicando a existência de espécies crípticas dentre os representantes do grupo. Estas singularidades são reflexos de pressões seletivas específicas, que levaram a um processo de especiação, que no caso de alguns representantes do grupo se manifestaram no desenvolvimento de limites ecofisiológicos específicos. Desta forma, a já divulgada distribuição “homogênea”, contínua e abundante no litoral brasileiro (Foster 2001; Dias 2002) deve ser vista com ressalvas, pois diferenças de profundidade ou mesmo latitudinais, levam a variação na composição, estrutura e funcionamento destes ambientes (Figueiredo & Steneck 2000; Steller *et al.* 2003; Harvey & Bird 2008; Amado-Filho *et al.* 2007; Riul *et al.* 2009; Amado-Filho 2012a, 2012b; Teichert *et al.* 2012; Pereira-Filho *et al.* 2012; Moura *et al.* 2013; Pascelli *et al.* 2013) que devem ser vistas de maneira detalhada no processo de manejo e conservação destes ambientes.

No Brasil, é crescente a demanda por produtos e pescado encontrados em nossos bancos de rodolitos (Riul *et al.* 2009). Além das ameaças impostas pela exploração, os bancos de rodolitos têm sido impactados por outras atividades humanas, especialmente pela poluição costeira e pesca de arrasto. Por apresentarem taxas de crescimento relativamente baixas (cerca de 1,0 mm por ano, Blake & Maggs 2003) são especialmente sensíveis, e poluentes derivados do *run-off* continental (Wilson *et al.* 2004) podem ser comprometer não só a fisiologia dos rodolitos, como também a diversidade de suas comunidades. Indiretamente, o sedimento fino, resultante do processo de dragagem ou da erosão costeira, pode recobrir a superfície destes ambientes diminuindo a produção de oxigênio destas algas em até 70% (Riul *et al.* 2008) debilitando o ambiente como um todo. Entretanto, a capacidade fotossintetizante dos rodolitos pode ser preservada ainda assim, de modo que estes organismos apresentam algum grau de tolerância a estes dois componentes abióticos.

Outra fonte importante de perturbação para dinâmica da biodiversidade marinha, ainda pouco explorada nos ambientes costeiros brasileiros, são as mudanças no clima, cujos sinais já têm sido observados ao redor de todo o planeta (IPCC 2013). Estas alterações no padrão de distribuição dos limites espaço/temporais de temperatura da atmosfera e da água estão relacionadas com a elevação das concentrações de gases estufa, especialmente do dióxido de carbono (Richardson 2008; Shi *et al.* 2010). A queima de combustíveis fósseis da ordem bilhões de toneladas ano, além de incrementar o efeito estufa (Schuldt *et al.* 2011; Shi *et al.* 2010), eleva as taxas de diluição do CO<sub>2</sub> nos oceanos reduzindo de maneira expressiva seu pH. Este processo de acidificação tem consequências graves para a biologia de muitos organismos assim como para a manutenção de importantes processos biogeoquímicos (Hall-Spencer *et al.* 2008).

Nas últimas décadas já se observa uma elevação da temperatura da superfície do planeta entre 0,4 e 0,8 °C, sendo que estes valores em parte são resultado de uma aceleração do aquecimento atmosférico documentado nos últimos quinze anos. Deve-se ressaltar que estas mudanças na temperatura são acompanhadas simultaneamente pela elevação da disponibilidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que resulta na elevação das concentrações de CO<sub>2</sub> e do bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) na água (Cornwall *et al.* 2012; Fabry *et al.* 2008; Tyrrell 2008; Wu *et al.* 2008). Em condições normais, o pH da superfície dos oceanos oscila em torno de 8,0-8,2. Previsões conservadoras para os próximos 100 anos estimam que estes valores podem chegar de 7,8 ou mesmo a 7,2, segundo os mais pessimistas. Tais valores reduzem a concentração carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) dissolvidos, elevando a demanda energética do processo de calcificação de organismos diversos, comprometendo sua ecofisiologia, reduzindo síntese de carbonatos de 20-40% (Cornwall *et al.* 2012; Fabry *et al.* 2008; Johnson *et al.* 2012; Hurd *et al.* 2009; Jokiel *et al.* 2008; Russell *et al.* 2009; Semesi *et al.* 2009; Tyrrell 2008). Estas variabilidades observadas em muitos organismos chaves resultaram em redução da diversidade de organismos calcificados e ambientes naturalmente acidificados (Porzio *et al.* 2011). Considerando a relação teórica óbvia entre diversidade e resiliência de comunidades (Chapin III *et al.* 1998), tal cenário nos leva a teorizar que oceanos acidificados deverão apresentar comunidades empobrecidas e menos resilientes ou mais

susceptíveis aos impactos negativos causados por estressores como a poluição orgânica ou por metais pesados.

Apesar de estudos relacionados aos efeitos das mudanças climáticas na biologia de algas calcárias se multiplicarem nos últimos anos, boa parte destes esforços se deram considerando apenas um destes fatores, e na maior parte das vezes um único organismo. Esta abordagem, apesar de gerar informação importante para a compreensão da biologia das respectivas espécies, apresenta limitações intrínsecas quando se pretende fornecer argumentos para a projeção de cenários futuros.

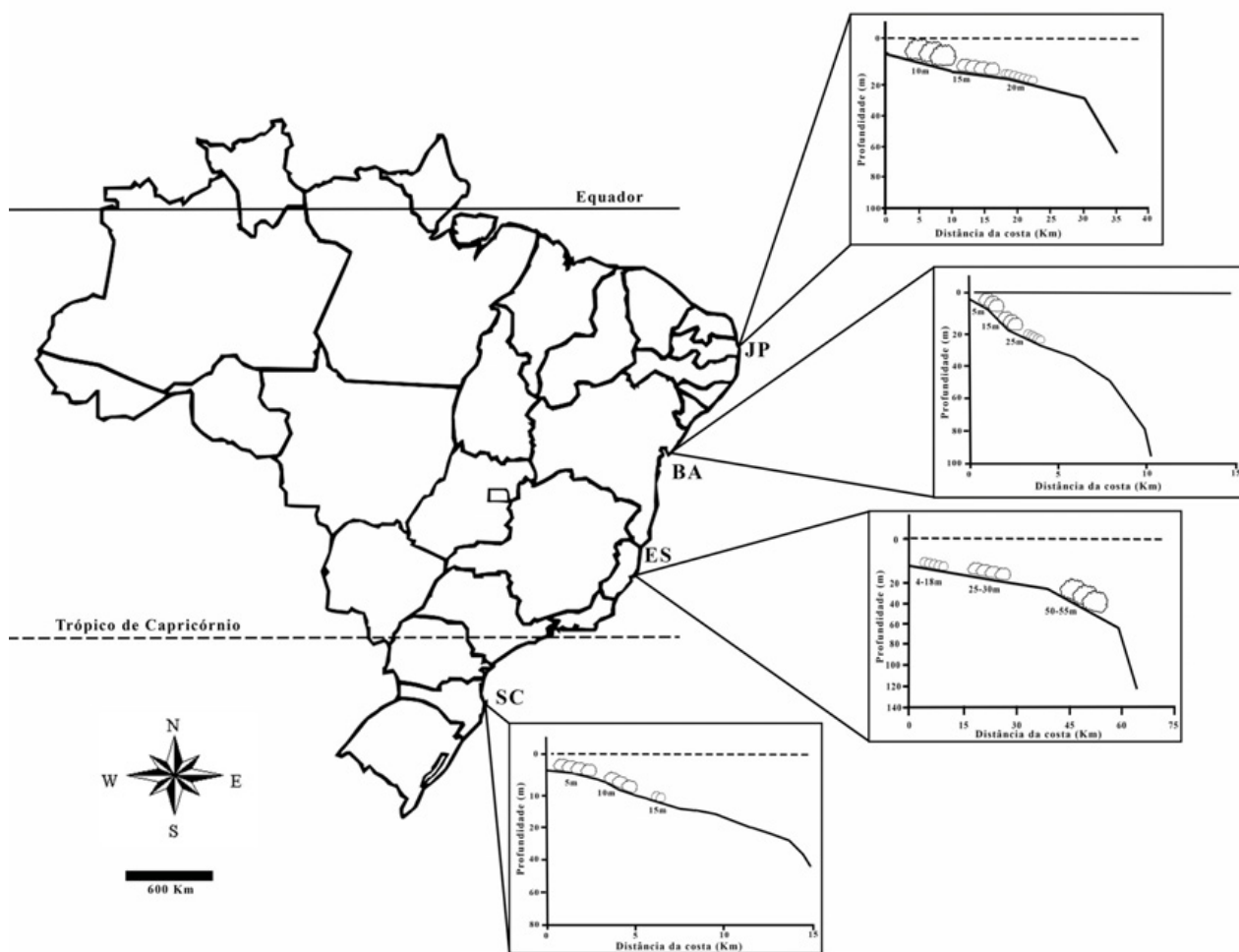
Os cenários futuros serão resultado das relações complexas entre diferentes fatores físico/químicos e biológicos. Um conjunto de fatores que devem povoar os estudos relativos aos impactos das mudanças climáticas são aqueles relacionados a estressores que atuam localmente (Russell *et al.* 2009). O processo crescente de ocupação e uso dos ambientes costeiros, próprio do Antropoceno (Steffen *et al.* 2011), tem levado a um incremento substancial na produção de efluentes que, além de matéria orgânica, apresentam poluentes como aqueles derivados do petróleo (hidrocarbonetos) e metais pesados (Halpern *et al.* 2012; Luo *et al.* 2012; Teichberg *et al.* 2010; Santos *et al.* 2014). Este grupo de fatores isoladamente ou em conjunto, estressores locais interagindo com mudanças globais, podem estar alterando o comportamento e/ou o desempenho fisiológico de animais e plantas nos ecossistemas terrestres ou aquáticos levando a uma crise da biodiversidade sem precedentes em nossa história recente (Wernberg *et al.* 2012).

A elevação dos níveis de precipitações em algumas áreas aumenta o carreamento de nutrientes e poluentes de ambientes urbanos e rurais, alterando a qualidade da água em áreas costeiras (Viaroli *et al.* 2005). Considerando que estas áreas guardam as maiores concentrações humanas de todos os continentes, é plausível a projeção de que o incremento populacional leve a uma fertilização dos ambientes costeiros, por conta do aumento do lançamento de esgoto que mundialmente não é ou é apenas parcialmente tratado, sendo os nutrientes dissolvidos lançados direta ou indiretamente nos mares. Considerando as condições macroecológicas atuais, este uso não planejado e ambientalmente equivocado do litoral brasileiro tem levado a perda de diversidade em todo o território nacional (Martins *et al.* 2012; Scherner *et al.* 2013). As manchas urbanas além de representarem fonte de nutrientes, alteram a drenagem costeira promovendo a concentração da quantidade e qualidade da água doce. Estas conseqüentes alterações da salinidade, caso combinadas com as previsões de elevação da frequência e intensidade de eventos extremos de pluviosidade podem impactar severamente os bancos de rodólitos uma vez que algas calcárias são especialmente sensíveis a elevados teores de nutrientes (Bjork *et al.* 1995), o que por sua vez deve favorecer espécies oportunistas como algas vermelhas filamentosas e algas verdes como aquelas do gênero *Ulva* (Scherner *et al.* 2012).

Outro cenário importante de ser avaliado é aquele que reúne as variações na disponibilidade de nutrientes com a elevação da disponibilidade de CO<sub>2</sub>. Russell *et al.* (2009) observaram que os tapetes de macroalgas filamentosas são altamente favorecidos pelo aumento de nutrientes em ambiente acidificados. Nestas condições, observa-se o incremento da fotossíntese destes organismos filamentosos o que resulta em uma maior abundância dos mesmos, que passam a ser competitivamente mais eficientes do que as algas calcárias. Entretanto, existe carência de estudos que avaliem estes dois fatores em ambientes com diferentes temperaturas, que, portanto, simulem as condições que são esperadas quando as concentrações de CO<sub>2</sub> forem, por exemplo, o dobro da atual. É plausível supor que o aquecimento da água deve elevar as taxas metabólicas, com o incremento da toxicidade de determinadas substâncias, especialmente no caso de algas calcárias que são tradicionalmente sensíveis. Por outro lado, este aquecimento deve favorecer ainda mais o crescimento de espécies oportunistas, intensificando o desequilíbrio nestes bancos. Entretanto, estas relações hipotéticas estão fundamentadas em informações que não nos permite avaliar o quanto a interação de organismos de comportamento antagônicos frente às mudanças previstas devem se relacionar. A elevação da produção primária previstas para algumas algas não calcificadas e grammas marinhas, em cenários

de oceanos acidificados e enriquecidos por nutrientes, deve remover temporária e localmente elevadas quantidades de  $\text{CO}_2$ . Esta elevação local e temporária do pH pode beneficiar o processo de calcificação organismos como as algas calcárias. Este *feedback* ecofisiológico foi observado por Semesi *et al.* (2009), que destacam a correlação positiva entre a elevação de pH produzida por gramas marinhas predominantemente representadas por *Thalassia hemprichii*, e a fisiologia de algas calcárias como *Hydrolithon* e *Mesophyllum*, que apresentaram elevação expressiva da calcificação quando mantidas em meio ao banco de gramas.

Além destes fatores de natureza química, não se pode esquecer do papel e possíveis interações com fatores físico como a disponibilidade de luz e especialmente o movimento de ondas e correntes oceânicas. Estudos realizados por Freiwald (1995) mostram que os bancos de rodolitos são formados a partir de regimes hidrodinâmicos altamente energéticos. Segundo este autor a fragmentação dos depósitos de algas calcárias culmina na formação de novos indivíduos, de forma que tempestades constituem a principal força ecológica e evolutiva para a formação dos bancos de rodolitos. Ainda que pouco documentados (Freiwald 1995), estes fenômenos são peças-chave na compreensão da estrutura da comunidade de um banco de algas calcárias uma vez que a abrasão do rodolito com o substrato arenoso promove força erosiva que pode reduzir a epibiose como também moldar sua forma, alterando a complexidade do nicho representada pela estrutura resultante da agregação destes rodolitos.



**Figura 1.** Diferentes aspectos de bancos de rodolitos ilustrando a variabilidade vertical da dimensão dos rodolitos em função da profundidade (adaptado de Bahia *et al.* 2010 e Pascelli *et al.* 2013).

Considerando o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, tempestades que por conta da intensidade dos ventos podem gerar ondas de elevado poder erosivo, a hidrodinâmica pode vir a ser prejudicial para os bancos de rodolitos assim como para a comunidade associada. Assim, como documentado por Pascelli *et al.* (2013), a redução da diversidade e abundância da comunidade associada a um banco de rodolitos está inversamente relacionada com a frequência e intensidade de eventos extremos, ou frentes frias. Estes fenômenos podem aumentar a frequência de rolagem dos rodolitos, erodindo sua superfície, reduzindo a diversidade e biomassa das algas que constituem boa parte da diversidade associada a estes bancos. Deve ainda se considerar que estes fenômenos também reduzem a disponibilidade de luz junto ao fundo, reduzindo teoricamente a produção primária potencial destas formações.

Desta forma, os fatores como temperatura, acidificação, hidrodinamismo e disponibilidade de nutrientes ou poluentes podem ser tratados considerando suas possíveis interações. São esperadas relação i. sinérgicas, onde os fatores atuam de forma conjunta sobre o objeto de estudo tendo o mesmo efeito sobre o organismo incrementando respostas positivas ou negativas. Pode-se ainda observar atuação ii. aditiva, onde os fatores atuam de forma independente um do outro ou mesmo iii. antagonica, quando os fatores tem interação negativa, sendo que um pode anular o efeito do outro. Como destacado por Wernberg *et al.* (2012), a maioria dos estudos realizados na última década enfocou um fator de cada vez sendo que as interações biológicas são pobremente conhecidas. Apesar disto, os maiores impactos já identificados nos organismos têm sido observados quando os fatores são interação de maneira sinérgica assim como se observaria no futuro nos ambientes naturais (IPCC *et al.*, 2013).

Martin & Gattuso (2009) combinando a elevação do CO<sub>2</sub> e o aquecimento da água observaram redução da calcificação da alga crostosa *Lithophyllum cabiochiae*. Os autores sugerem que a descalcificação por aumento de CO<sub>2</sub> fazia que as algas se tornassem mais sensíveis ao aumento da temperatura. Esta relação sinérgica é corroborada por outros estudos considerando outras algas calcárias por (Diaz-Pulido *et al.* 2012), o que reforça a necessidade de incrementarmos os desenhos experimentais nos aproximando ao máximo da complexidade esperada para os cenários futuros.

## Considerações finais

Apesar de importantes e abundantes em todo o litoral brasileiro, os bancos de rodolitos são ainda pouco conhecidos, e estão sob inquestionável ameaça frente aos fatores relacionados às Mudanças Climáticas e suas possíveis interações com estressores locais. Existe a demanda por um trabalho em rede para que tenhamos um primeiro grande esforço de caracterização destas formações em nosso litoral. Esta caracterização em larga escala irá nos fornecer melhor compreensão dos fatores que hoje determinam os diferentes padrões de diversidade e abundância. Este levantamento pioneiro irá permitir também a seleção de áreas chaves para a realização de um programa de monitoramento de longa duração, que gere informações vitais para a criação e melhoria de modelos que venham a incrementar nossa capacidade de previsão da distribuição destes bacos e de sua fauna e flora associadas nas próximas décadas.

Estes fatores podem ser simulados em meso-escala em laboratório, considerando, por exemplo, a avaliação simultânea de fatores ambientais e a eventual interação entre descritores biológicos. O Brasil ainda carece de infraestrutura necessária para que possa gerar informações que subsidiem a construção de cenários considerando este universo experimental complexo, onde a simulação de parâmetros possa ser variável e na escala adequada. Hoje a infraestrutura disponível no Brasil está atrelada à Petrobras ou a instituições como o IEAPM, UFBA e UFSC. Entretanto em todos estes casos não se dispõe de financiamento ou mesmo instalações adequadas para abrigar demandas nacionais.

Considerando a necessidade de se produzir o Plano Nacional de Adaptação às mudanças climáticas em 2015, a estruturação de uma rede de laboratórios que possam atender a demandas gerais considerando especificidades ou vocações regionais ou locais é crescente. Este modelo, com laboratório de uso compartilhado bem equipados supervisionados por técnicos qualificados, adotado por exemplo nos Estados Unidos, tem surtido efeito e já permitiu ganhos sociais e econômicos com o desenvolvimento de técnicas inovadoras na adaptação da produção de moluscos na costa da Califórnia que já vem sofrendo com a acidificação dos oceanos.

Desta forma reforçamos que informações adicionais vindas de experimentos em média e larga escala, sob condições controladas de mesocosmos monitorados com qualidade, devem fornecer importantes subsídios da influência de fatores determinantes da fisionomia destas comunidades hoje e em ambientes futuros. Estruturas transinstitucionais devem permitir a realização destes experimentos, que serão vitais para que possamos ter estratégias adequadas de mitigação, remediação ou mesmo de adaptação aos cenários futuros relacionados com a mudança do clima do planeta. Estes subsídios irão incrementar nossa capacidade de manejo destes ambientes, otimizando o processo de gestão do litoral Brasileiro, região onde os bancos de rodólitos são parte fundamental.

## Referências

- Aguirre, J.; Riding, R. & Braga, J.C. 2000. Diversity of coralline red algae: origination and extinction patterns from the Early Cretaceous to the Pleistocene. **Paleobiology** **26**: 651-667.
- Alves, G.L. 2012. **Fitobentos associados a bancos de rodólitos do litoral norte da Bahia: Aspectos taxonômicos e ecológicos**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-graduação em Botânica) - Universidade Estadual de Feira de Santana.
- Amado-Filho, G.M.; Maneveldt, G.; Manso, R.C.C.; Marins-Rosa, B.V.; Pacheco, M.R. & Guimarães, S.M.P.B. 2007. Estructura de los mantos de rodólitos de 4 a 55 metros de profundidad en la costa sur del estado de Espírito Santo, Brasil. **Ciencias Marinas** **33**: 399-410.
- Amado-Filho, G.M.; Moura, R.L.; Bastos, A.C.; Salgado, L.T.; Sumida, P.Y.; Guth, A.Z.; Francini-Filho, R.B.; Pereira-Filho, G.H.; Abrantes, D.P.; Brasileiro, P.S.; Bahia, R.G.; Leal, R.N.; Kaufman, L.; Kleyvas, J.A.; Farina, M. & Thompson, F.L. 2012a. Rhodolith Beds Are Major CaCO<sub>3</sub> Bio-Factories in the Tropical South West Atlantic. **PlosOne** **7**: e35171.
- Amado-Filho, G.M. & Pereira-Filho, G.H. 2012. Rhodolith beds in Brazil: a new potential habitat for marine bioprospection. **Revista Brasileira de Farmacognosia** **22**: 782-788.
- Amado-Filho, G.M.; Pereira-Filho, G.H.; Bahia, R.G.; Abrantes, D.P.; Veras, P.C. & Matheus, Z. 2012b. Occurrence and distribution of rhodolith beds on the Fernando de Noronha Archipelago of Brazil. **Aquatic Botany** **101**:41-45.
- Andrade, N.A. 2012. Aspectos taxonômicos e ecológicos dos bancos de rodólitos do litoral norte da Bahia. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Biodiversidade Vegetal) - Universidade do Estado da Bahia.
- Bahia, R.; Abrantes D.P.; Brasileiro, P. S.; Pereira Filho G.; Amado Filho, G.M. 2010. Rhodolith bed structure along a depth gradient from northern coast of Bahia State, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography** **58**: 323-337
- Blake, C. & Maggs, C.A. 2003. Comparative growth rates and internal banding periodicity of maerl species (Corallinales, Rhodophyta) from northern Europe. **Phycologia** **42**: 606-6012.
- Björk, M.; Mohammed, S.M.; Björklund, M.; Semesi, A. 1995. Coralline Algae, Important Coral-Reef Builders Threatened by Pollution. **Ambio** **24**: 502-505
- Brodie, J. & Zuccarello, G.C. 2007. Systematics of the species rich algae: red algal classification, phylogeny and speciation. In: Hodkinson, T.R. (Ed.) **Reconstructing the Tree of Life: Taxonomy and Systematics of Species Rich Taxa**. Florida: CRC/Taylor and Francis, Boca Raton, pp.317-330.



- Chapin III, F.S.; Sala, O.; Burke, I.C.; Grime, J.P.; et al 1998. Ecosystem consequences of changing biodiversity. **Bioscience** **48**: 45-52.
- Cornwall, C.E.; Hepburn, C.D.; Pritchard, D.; Currie, K.I.; McGraw, C.M.; Hunter, K.A. & Hurd, C.L. 2012. Carbon-use strategies in macroalgae: differential responses to lowered pH and implications for ocean acidification. **Journal of Phycology** **48**: 137-144.
- Dias, G.T.M. 2001. Granulados bioclásticos – algas calcárias. **Brazilian Journal of Geophysics** **18**: 307-318.
- Dias, G.T. & Villaça, R.C. 2012. Coralline algae depositional environments on the Brazilian central southeastern shelf. **Journal of Coastal Research** **28**: 270-279.
- Diaz-Pulido, G.; Anthony, K.R.N.; Kline, D.I.; Dove, S. & Hoegh-Guldberg, O. 2012. Interactions between ocean acidification and warming on the mortality and dissolution of coralline algae. **Journal of Phycology** **48**: 32-39.
- Fabry, V.J.; Seibel, B.A.; Feely, R.A. & Orr, J.C. 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. ICES. **Journal of Marine Science** **65**:414-432.
- Figueiredo, M.A.O. & Steneck, R.S. 2000. Floristic and ecological studies of crustose coralline algae on Brazil's Abrolhos reefs. **In Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium**, Bali, p.493-498.
- Foster, M.S. 2001. Rhodoliths: Between rocks and soft places. **Journal of Phycology** **37**: 659-667.
- Freiwald, A. 1995. Sedimentological and biological aspects in the formation of branched rhodoliths in northern Norway. **Beitr. Paläont.** **20**: 7-19.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2013. AlgaeBase. World-wide electronic publication, **National University of Ireland, Galway**. <http://www.algaebase.org>; acesso em 20 de outubro de 2013.
- Hall-Spencer, J.M.; Rodolfo-Metalpa; R. Martin; S. Ransome E.; Belas M.; Turner S.M.; Rowley S.J.; Tedesco D. & Buia M.C. 2008. Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. **Nature** **454**: 96-99.
- Halpern, B.S.; Longo, C. & Hardy, D. 2012. An index to assess the health and benefits of the global ocean. **Nature** **488**: 615-620.
- Harvey, A. S.; Bird, F. L. 2009. Community structure of a rhodolith bed from cold-temperate waters (southern Australia). **Australian Journal of Botany** **56**: 437-450.
- Hurd, C.L.; Hepburn, C.D.; Currie, K.I.; Raven, J.A. & Hunter, K.A. 2009. Testing the effects of ocean acidification on algal metabolism: considerations for experimental designs. **Journal of Phycology** **45**, 1236-1251.
- IPCC; Stocker, T.F.; Qin, D. & Plattner, G.K. 2013. **Climate change 2013: the physical science basis**. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. IPCC.
- Jokiel, P.L.; Rodgers, K.S.; Kuffner, I.B.; Andersson, A.J.; Cox, E.F. & Mackenzie, F.T. 2008. Ocean acidification and calcifying reef organisms: a mesocosm investigation. **Coral Reefs** **27**: 473-483.
- Johnson, V.R.; Russell, B.D.; Fabricius, K.E.; Brownlee, C.; Hall-Spencer, J.M. 2012. Temperate and tropical brown macroalgae thrive, despite decalcification, along natural CO<sub>2</sub> gradients. **Global Change Biology** **18**: 2792-2803.
- Littler, M.M. 1972. The crustose Corallinaceae. **Oceanography and Marine Biology - an Annual Review** **10**: 311-347.
- Littler, M.M.; Littler, D.S.; Blair, S.M. & Norris, J.N. 1986. Deep-water plant communities from an uncharted seamount off San Salvador Island, Bahamas: distribution, abundance, and primary productivity. **Deep-sea Research** **33**: 881-892.
- Luo, M.B.; Liu, F. & Xu, Z.L. 2012. Growth and nutrient uptake capacity of two co-occurring species, *Ulva prolifera* and *Ulva linza*. **Aquatic Botany** **100**: 18-24.
- Martin, S. & Gattuso, J.P. 2009. Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature. **Global Change Biology** **15**: 2089-2100.
- Martin S., Gattuso J.P. (2009) Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature. **Global Change Biology** **15**: 2089-2100.

- Martins, C.D.L.; Arantes, N. & Faveri, C., Batista, M.B., Oliveira, E.C., Pagliosac, P.R., Fonseca, A.L., Nunes, J.M.C., Chow, F., Pereira, S.B., Horta, P.A. 2012. The impact of coastal urbanization on the structure of phytobenthic communities in southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin** **64**: 772–778.
- Moura, R.L.; Secchin, N.A.; Amado-Filho, G.M.; Francini-Filho, R.B.; Freitas, M.O.; Mente-Vera, C.V.; Teixeira, J.B.; Thompson, F.L.; Dutra, G.F.; Sumida, P.Y.G.; Guth, A.Z.; Lopes, R.M. & Bastos, A.C. 2013. Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank. **Continental Shelf Research** **70**: 109-117.
- Oliveira, E.C. 1997. Letters. **Science** **277**: 1991.
- Oliveira, E.C. 1996 Is there a relation among the global warming, the missing carbon and the calcareous algae? **Anais da Academia Brasileira de Ciências** **68**: 18-21.
- Pascelli, C.; Riul, P.; Riosmena-Rodriguez, R.; Scherner, F.; Nunes, M.; Hall-Spencer, J.M.; Oliveria, E.C. & Horta, P.A. 2013. Seasonal and depth-driven changes in rhodolith bed structure and associated macroalgae off Arvoredo island (southeastern Brazil). **Aquatic Botany** **111**: 62-65.
- Pereira-Filho, G.H.; Amado-Filho, G.M.; Moura, R.L.; Bastos, A.C.; Guimarães, S.M.P.B.; Salgado, L.T.; Francini-Filho, R.B.; Bahia, R.G.; Abrantes, D.P.; Guth, A.Z. & Brasileiro, P.S. 2012. Extensive Rhodolith Beds Cover the Summits of Southwestern Atlantic Ocean Seamounts. **Journal of Coastal Research** **28**: 261-269.
- Porzio, L.; Buia, M.C. & Hall-Spencer, J.M. 2011. Effects of ocean acidification on macroalgal communities. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** **400**: 278–287.
- Richardson A., 2008 In hot water: Zooplankton and climate change. **Journal of Marine Science** **65**, 279-295.
- Riul, P.; Targino, C.H.; Farias, J.N.; Visscher, P.T. & Horta, P.A. 2008. Decrease in Lithothamnion sp. (Rhodophyta) primary production due to the deposition of a thin sediment layer. **Journal of the Marine Biology Association United Kingdom** **88**: 17–19.
- Riul, P.; Lacouth, P.; Pagliosa, P.R.; Christoffersen, M.L. & Horta, P.A. 2009. Rhodolith beds at the easternmost extreme of South America: Community structure of an endangered environment. **Aquatic Botany** **90**: 315-320.
- Russell, B.D.; Thompson, J.I.; Falkenberg, L.J. & Connell, S.D. 2009. Synergistic effects of climate change and local stressors: CO<sub>2</sub> and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats. **Global Change Biology** **15**: 2153–2162.
- Santos, R. W. ; Schmidt, E. C. ; Felix, M.M.R.; Polo, L.K. ; Kreuzsch, M. G. ; Tomazi, D. ; Simioni, C. ; Chow, F.; Fungyi, Ramlov, Fernanda; Maraschin, M.; Bouzon, Z. L. 2014. 2014. Bioabsorption of cadmium, copper and lead by the red macroalga *Gelidium floridanum*: physiological responses and ultrastructure features. **Ecotoxicology and Environmental Safety** **105**:80-89.
- Semesi, I. S.; Beer, S. & Björk, M. 2009. Seagrass photosynthesis controls rates of calcification and photosynthesis of calcareous macroalgae in a tropical seagrass meadow. **Marine Ecology Progress Series** **382**: 41–47.
- Scherner, F.; Riul, P.; Bastos, E.; Bouzon, Z. L.; Pagliosa, P. R.; Blankensteyn, A.; Oliveira, E. C. & Horta, P.A. 2010. Herbivory in a Rhodolith Bed: a Structuring Factor? **Panamjas** **5**: 358-366.
- Scherner, F.; Bonomi Barufi, J & Horta, P. A. 2012. Photosynthetic response of two seaweed species along an urban pollution gradient: Evidence of selection of pollution-tolerant species. **Marine Pollution Bulletin** **64**: 2380-2390.
- Scherner, F.; Horta, P.A.; Oliveira, E.C.; Simonassi, J.C.; Hall-Spencer, J.M.; Chow, F.; Nunes, J.M.C. & Pereira, S.M.B. 2013. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. **Marine Pollution Bulletin** **76**: 106-115.
- Schuldt J., Konrath S., Schawarz X. 2011. “Global warming” or “climate change”? whether the planet is warming depends on question wording. **Public Opinion Quarterly** **75**: 115-124.
- Shi, D.; Xu, Y.; Hopkinson, B.M. & Morel, F.M.M. 2010 Effect of ocean acidification on iron availability to marine phytoplankton. **Science** **327**:676–679.
- Steffen W.; Persson A.; Deutsch L.; Zalasiewicz J.; Williams M.; Richardson K.; Crumley C.; Crutzen P.; Folke C.; Gordon L.; Molina M.; Ramanathan V.; Rockström J.; Scheffer M.; Schellnhuber H. J. & Svedin U. 2011. The Anthropocene: from global change to planetary stewardship. **Ambio** **40**: 739- 761.

- Steller, D.L.; Riosmena-Rodríguez, R.; Foster, M.S. & Roberts, C.A. 2003. Rhodolith bed diversity in the Gulf of California: the importance of rhodolith structure and consequences of disturbance. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 13**: S5-S20.
- Teichberg M.; Fox S.; Olsen Y.; Valiela I.; Martinetto P.; Iribarnes O.; Yuriko- Muto E.; Petti M.; Corbisier T.; Soto – Jimenez M.; Paez-Osuna F.; Castro P.; Freitas H.; Zitelli A.; Cardinaletti M. & Tagliapietras D. 2010. Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. **Global Change Biology 16**: 2624-2637.
- Teichert, S.; Woelkerling, W.; Rüggeberg, A.; Wisshak, M.; Piepenburg, D.; Meyerhöfer, M.; Form, A.; Büdenbender, J. & Freiwald, A. 2012. Rhodoliths beds (Corallinales, Rhodophyta) and their physical and biological environment at 80°31'N in Nordkappbukta (Nordaustlandet, Svalbard Archipelago, Norway). **Phycologia 51**: 371-390.
- Testa, V. & Bosence, D.W.J.; 1999. Physical and biological controls on the formation of carbonate and siliciclastic bedforms on the northeast Brazilian shelf. **Sedimentology 46**, 279-301.
- Tyrrell T. (2008) Calcium carbonate cycling in future oceans and its influence on future Climates. **Journal of Plankton Research 30**: 141-156.
- Viaroli P.; Bartoli M.; Azzoni R.; Giordani G.; Mucchino C.; Naldi M.; Nizzoli D. & Tajé L. 2005. Nutrient and iron limitation to *Ulva* blooms in a eutrophic coastal lagoon (Sacca di Goro, Italy). **Hydrobiologia 550**: 57-71.
- Wernberg, T.; Smale, D.S. & Thomsen, M.S. 2012. A decade of climate change experiments on marine organisms: procedures, patterns and problems. **Global Change Biology 18**, 1491-1498.
- Wilson, S.; Blake, C.; Berges, J.A. & Maggs, C.A. 2004. Environmental tolerances of free-living coralline algae (maërl): implications for European marine conservation. **Biological Conservation 120**: 279-289.
- Woelkerling, W.J. 1993. Growth-forms in Non-geniculate Coralline Red Algae (Corallinales, Rhodophyta). **Australian Systematic Botany 6**: 277-293.
- Wu, H.; Zou, D. & Gao, K. 2008. Impacts of increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis and growth of micro- and macro-algae. **Science China Life Sciences 51**: 1144-1150.

# MAPEANDO OS BANCOS DE RODOLITOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL E DE ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS: GIGANTESCAS BIOFÁBRICAS DE CARBONATO DE CÁLCIO E DE SUORTE A DIVERSIDADE MARINHA

**Gilberto M. Amado Filho**


Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

[gilbertoamadofilho@gmail.com](mailto:gilbertoamadofilho@gmail.com)

Estudos recentes têm demonstrado que extensas áreas da plataforma continental, topos de montes submarinos e de plataformas insulares da porção Sudoeste do Atlântico tropical são ocupadas por bancos de rodolitos. Áreas como o Banco dos Abrolhos, os montes submarinos da Cadeia Vitória Trindade e plataformas insulares de Fernando do Noronha e Atol das Rocas tem os bancos de rodolitos como o principal habitat encontrado. Até bem pouco tempo essas formações eram tratadas como cascalho ou grânulos bioclásticos e consideradas de pouca importância para a estruturação de habitats marinhos no Brasil. Para se ter uma ideia da mudança de paradigma em relação aos habitats dominados por rodolitos, o IBAMA órgão que licencia atividades de exploração de óleo e gás no Brasil, tendo como base o princípio da precaução devido a falta de informação sobre esses habitats, passou a considerar recentemente áreas de rodolitos como áreas de exclusão para atividades de exploração e produção de óleo e gás.

Em tempos de mudanças climáticas, o papel desempenhado pelos bioconstrutores de carbonato de cálcio é fundamental para a sobrevivência dos recifes coralíneos. A perspectiva da acidificação dos oceanos pode levar ao desaparecimento dos recifes coralíneos até o final desse século pela dissolução do  $\text{CaCO}_3$ . A produção de  $\text{CaCO}_3$  pelo maior banco de rodolitos do mundo (~21.000 km<sup>2</sup>) encontrado no Banco dos Abrolhos é de 25 Mt.ano<sup>-1</sup> e corresponde a 5 % da produção mundial. A produção de  $\text{CaCO}_3$  também foi estimada para os topos de montes submarinos da CVT (1,5 Mt.ano<sup>-1</sup>). Em média, os bancos de rodolitos mapeados em Abrolhos e na CVT produzem 1,2 kg  $\text{CaCO}_3$ .m<sup>-2</sup>.y<sup>-1</sup>. Com esses exemplos podemos ter uma ideia da contribuição dos bancos de rodolitos para a produção de  $\text{CaCO}_3$  no Atlântico Sul, que até a publicação desses resultados era completamente negligenciado em qualquer estimativa de produção de  $\text{CaCO}_3$  a nível mundial. Entretanto, várias questões estão em aberto. A principal é que extensas áreas do litoral brasileira que potencialmente devem apresentar bancos de rodolitos em suas plataformas não estão minimamente mapeadas, dais quais devem ser destacadas: toda a região norte da Foz do Rio Amazonas ao Rio Grande Norte, extensas áreas da plataforma continental da região Nordeste e também toda Bacia de Campos (ES, RJ) onde grande parte do óleo e gás é explorado sobre a plataforma continental desde a década de 1970.

Apesar da importância apontada, pode-se afirmar que existe uma lacuna enorme no conhecimento sobre a diversidade associada aos rodolitos. A estrutura "rodolito" funciona como um minirrecife, que serve de suporte para fixação e abrigo para vários grupos de organismos. Em relação às



macroalgas, alguns resultados obtidos nos últimos 10 anos demonstram o potencial da diversidade associada a rodolitos, por exemplo, uma área de 150 km<sup>2</sup> ocupada por bancos de rodolitos entre 4 e 18 m de profundidade no sul do Espírito Santo abriga 25% das espécies descritas para toda a costa brasileira. Entretanto, áreas gigantescas não foram inventariadas. Em relação a fauna, pode-se afirmar que é pouco conhecida, apesar de algumas iniciativas pontuais. Um dos principais obstáculos para o conhecimento da fauna é a complexidade taxonômica de grupos como poliquetos, serpulídeos, ascídeos, esponjas dentre outros. É necessário um investimento em especialistas dos diferentes grupos taxonômicos para que se possa efetivamente realizar um estudo consistente sobre fauna associada a rodolitos.

Durante a realização do simpósio serão apontadas e discutidas as principais ações para podermos avançar no conhecimento desse habitat tão importante para a Zona Econômica Exclusiva Brasileira.

# ESTUDOS TAXONÔMICOS EM ALGAS CORALINÁCEAS INCRUSTANTES FORMADORAS DE BANCOS DE RODOLITOS NO BRASIL

**Ricardo da Gama Bahia**

Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.


[ricardo.bahia@gmail.com](mailto:ricardo.bahia@gmail.com)

O Brasil é conhecido por abrigar as maiores concentrações de bancos de rodolitos do mundo. Apesar de sua elevada importância ecológica, econômica e ampla distribuição, poucos estudos foram realizados acerca destas comunidades sob um ponto de vista biológico. Isso se deve, especialmente, às dificuldades taxonômicas que envolvem o grupo das algas vermelhas coralináceas incrustantes (CCA), principal organismo formador dos rodolitos, e à carência de especialistas no país. Estas algas têm sido estudadas desde o século XVIII e sua taxonomia sofreu grandes mudanças de paradigma ao longo do tempo. Inicialmente, eram consideradas minerais (“estactites inorgânicos”) e, posteriormente, foram classificadas por Linnaeus como animais, membros do grupo dos corais hermatípicos.

Somente em meados do século XIX evidências da estrutura interna do talo e características reprodutivas confirmaram que se tratavam de plantas (algas). Até o final da década de 1990, o conhecimento taxonômico sobre as CCA do Brasil era limitado a registros esparsos de ficólogos europeus a partir de material coletado em expedições científicas dos séculos XIX-XX e a uma tese de doutorado de 1976 de uma autora brasileira (Noemi Yamagishi-Tomita) que tratou do assunto dando contribuições ao conhecimento do gênero *Sporolithon* no Brasil.

Nesse período, as espécies de CCA eram comumente delimitadas, dentre outros caracteres, a partir de características vegetativas relacionadas ao aspecto externo do talo. Entretanto, estudos aprofundados de revisões taxonômicas mais recentes (a partir de 1988) demonstraram que tais características fenotípicas podem variar em função de condições ambientais, não devendo ser utilizadas para separação de táxons. Dois indivíduos de uma mesma espécie podem ser muito diferentes em relação à aparência externa dependendo da idade, habitat e outros fatores. Do mesmo modo, indivíduos de espécies diferentes podem apresentar um aspecto externo muito semelhante, sendo praticamente impossível distinguí-los no campo. Tais constatações tiveram importantes implicações taxonômicas e nomenclaturais, impondo aos taxonomistas modernos a necessidade de revisar a maioria dos táxons previamente descritos. De acordo com os conceitos modernos da taxonomia das CCA, uma identificação em nível infragenérico confiável requer a observação de detalhes de estruturas vegetativas e reprodutivas em microscópio óptico, o que só é possível com a utilização de técnicas específicas de histologia que incluem a descalcificação, desidratação, inclusão em resina e cortes em micrótomo.

Além disso, algumas características taxonômicas só podem ser observadas através de microscópio eletrônico de varredura, tornando o processo taxonômico relativamente mais complexo, caro e demorado do que o geralmente utilizado para outros grupos de macroalgas marinhas. Esforços para



o conhecimento taxonômico das CCA no Brasil sob uma ótica dos conceitos modernos do grupo tiveram início apenas na década de 2000. Desde então, foram descritas três espécies novas para ciência e cerca de uma dezena de registros de novas ocorrências para o Brasil e/ou Atlântico. Dos 27 gêneros de CCA conhecidos com representantes vivos, pelo menos nove incluem espécies conhecidas por formar rodolitos e todos estes ocorrem no Brasil. Dados de minha recém defendida tese de doutorado sobre as CCA formadoras de rodolitos no Brasil revelaram uma riqueza de 33 espécies, sendo 26 destas com registro confirmado a partir de revisão taxonômica atual.

A região da Plataforma Continental de Abrolhos foi a área de estudo com a maior riqueza de espécies (total de 14). As espécies formadoras de rodolitos mais comuns e com distribuição geográfica mais ampla são *Hydrolithon rupestre*, *Lithothamnion crispatum*, *Mesophyllum erubescens* e *Sporolithon ptychoides*. Uma comparação realizada com outros bancos de rodolitos do mundo revelou que a riqueza de espécies da flora de CCA formadoras de rodolito no Brasil é a maior do planeta. A semelhança da flora de CCA formadoras de rodolitos no Brasil com aquela encontrada no Indo-Pacífico sugere que esta última deva ser o centro de origem e dispersão da primeira.

Atualmente, além das análises morfoanatômicas modernas, o uso de ferramentas moleculares para o conhecimento taxonômico e filogenético das CCA vem se tornando cada vez mais comum e indispensável. Entretanto, até o presente, apenas um estudo envolvendo biologia molecular de CCA foi publicado para o Brasil. Destaca-se que uma grande parcela da plataforma continental brasileira dominada por bancos de rodolitos, principalmente do nordeste brasileiro, permanece inexplorada. Isso tudo indica que, inevitavelmente, ainda existem espécies que não foram registradas e possivelmente espécies ainda não descritas pela ciência. Portanto, estudos de taxonomia e inventário florístico de CCA devem ser encorajados no Brasil, especialmente aqueles que integram dados morfoanatômicos e moleculares, de modo a preencher essas importantes lacunas do conhecimento e gerar dados básicos para uma conservação eficiente. O entendimento taxonômico das CCA constitui umas das primeiras etapas para compreensão de seu papel nos ecossistemas, bem como de suas interações ecológicas com organismos associados e respostas a estressores ambientais as quais estão sujeitas, como a acidificação dos oceanos. Por vezes, estas interações e respostas são espécie-específicas e só é possível reconhecê-las com o domínio da taxonomia dos grupos envolvidos.



# DISTRIBUTION AND ORGANIZATION OF RHODOLITH/MAERL WORLDWIDE

**Rafael Riosmena-Rodríguez**

Universidad Autónoma de Baja California Sur, Programa de Investigación  
en Botánica Marina, Departamento Académico de Biología Marina, México.

[riosmena@uabs.mx](mailto:riosmena@uabs.mx)

Over the last decade the increment in our knowledge of rhodolith/maerl beds over the globe has increase dramatically. At the present time we are in the editorial process to have the first account of the beds (living and fossil) worldwide. Rhodolith/maerl beds are widely distributed from pole to pole, in particular this ecosystem is widely distributed in shallow coastal areas with extensive continental shelf but we know very little about their distribution in deeper waters (below 50m). A high number of rhodolith-forming species have been recorded around the globe but the associated biodiversity is in the order of thousands of species but the number of unknown species in this habitat is probably equal to the known species. Rhodolith/maerl species are relevant also because the extension of the beds who I calculate approx. 3% of all near shore areas, who make them equivalent with other major marine ecosystems. But if we take in account the amount of calcium carbonate sand deposited their impact might rise 6% of total near shore areas in the world. Rhodolith/maerl is ecological engineers who participate in several ecological processes such as recruitment, nursery, reproduction and juvenile development of economic and ecological relevant species and there are several study cases that clearly shows their value in coastal management and fisheries. This ecosystem is relevant because the amount of calcium carbonate produced and deposited along the coast line. However there are major threats for the future of rhodolith/maerl beds that are related with acidification of the ocean, increase of water temperature, coastal development, etc. But more relevant is the lack of legal protection in national and international agencies. Only few countries are considering their protection and developing management plants, because of the size of beds there are relevant in the world CO2 balance and they should be protected.



# O PAPEL DAS RPPNS NA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

**Cristina Benford Pernambuco<sup>1</sup> & Wallace Alan Alves Ferreira Silva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Associação de RPPNs de Minas Gerais, ARPEMG, Brasil.

<sup>2</sup> Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM, Curso de Graduação em Ciências Biológicas, Patos de Minas, MG, Brasil.

[cbenfordpernambuco@gmail.com](mailto:cbenfordpernambuco@gmail.com)

A heterogeneidade ambiental do Cerrado *lato sensu* tem sido utilizada para explicar sua riqueza e distribuição da flora e fauna, visto que o mosaico de habitats cria um gradiente de condições ambientais e recursos que podem ser explorados por um imensurável número de espécimes. O Bioma representa 23% da área total do país, e somente 2% estão legalmente protegidos em áreas de conservação. A taxa de desmatamento do Cerrado é alarmante, chegando a 1,5% ao ano. Estimando que o bioma fora das Unidades de Conservação deverá desaparecer no ano de 2030, caso o atual modelo de desenvolvimento seja mantido. Devido à tamanha ameaça, o Cerrado brasileiro é considerado um dos 25 “hotspots”, locais de grande biodiversidade mais ameaçados do planeta. Fato explicável dentro da intensa ação antrópica sofrida desde a década de 70, devido principalmente à expansão de fronteiras agrícolas e ao crescimento urbano desequilibrado. A fundação de áreas protegidas, federais ou privadas, é reconhecida como uma das estratégias mais eficientes na contenção da crise da biodiversidade, tendo a função de manter em caráter permanente os recursos naturais e, subsequentes processos ecológicos nos mais diversos ecossistemas. Considerando que as espécies não se encontram uniformemente distribuídas, mas concentradas em determinadas regiões, priorizar as ações de conservação em prol de incorporar a diversidade fitofisionômica, passa a ser uma necessidade. Preservada desde 1972, pioneira no decreto de Reserva Particular do Patrimônio Natural, em 1990, a Estação Biológica Vereda Grande mostra-se de extrema importância para a manutenção da biodiversidade local. Atualmente definida como a quarta maior RPPN do estado de Minas Gerais, sua área de 2.994,80 hectares compreende um dos poucos ambientes inalterados deste Bioma. Contudo, a escassez de pesquisas para a região não permite avaliar sua atual dimensão e particularidades, somando essa importância ao conhecimento científico geral, que ainda encontra-se subestimado para o Cerrado.

# PLANTAS MEDICINAIS DA RPPN IRACAMBI (MINAS GERAIS, BRASIL)

**Fabrício Marcolino**

Associação Amigos de Iracambi, Rosário da Limeira, Brasil.

[fabriciomcln@hotmail.com](mailto:fabriciomcln@hotmail.com)

Na Serra do Brigadeiro, no entorno do parque, vivem famílias tradicionais, que mesmo com o êxodo rural e a revolução digital não abandonam a tradição. As novas gerações não estão em contato com esse tipo de medicina, não é certo deixar se perder o conhecimento sobre as utilidades dos vegetais principalmente da medicina popular, sem serem mais bem vistos, testados e divulgados. Na Serra do brigadeiro existe o Parque Estadual da Serra do Brigadeiro.

Criado em 27 de setembro de 1996 (Decreto n.º 38.319), o Parque Estadual da Serra do Brigadeiro está localizado na região da Zona da Mata mineira, a cerca de 290 km de Belo Horizonte. Foi aberto à visitação em março de 2005. O Decreto Federal 44.191, publicado em 2005, alterou a área do Parque.

O Parque ocupa o extremo norte da Serra da Mantiqueira ocupando terrenos nos municípios de Araponga, Fervedouro, Miradouro, Ervália, Sericita, Pedra Bonita, Muriaé e Divino. A Serra do Brigadeiro possui inúmeras nascentes, que contribuem de maneira significativa para a formação de duas importantes bacias hidrográficas do Estado: a do rio Doce e a do Paraíba do Sul.

Patrimônio natural, a unidade de conservação tem 14.984 hectares de onde predominam a Mata Atlântica, montanhas, vales, chapadas, encostas além de diversos cursos d'água que integram as bacias dos rios Paraíba do Sul e Doce.

O Parque abriga vários Picos: o do Soares (1.985 metros de altitude), o Campestre (1.908 m), o do Grama (1.899 m) e o do Boné (1.870 m). A altitude e o relevo amenizam a temperatura local e a neblina cobre os picos durante quase todo o ano, formando uma das mais belas imagens do Parque.

A Mata Atlântica, principal formação vegetal da área, está intercalada com os Campos de Altitude e afloramentos rochosos, formando um belo cenário. Considerado um paraíso botânico, o Parque constitui um ecossistema rico em espécies vegetais como bromélia, peroba, ipê, orquídea, cajarana, jequitibá, óleo-vermelho e palmito doce. A neblina que, durante quase o ano todo, cobre os picos onde se localizam os campos de altitude, propicia as condições para a formação de um ecossistema rico em orquídeas, samambaias, líquens, bromélias, variedades de gramíneas, arbustos e cactos, dentre outras espécies.

A região tem duas estações acentuadamente distintas: a chuvosa e a seca. A temperatura média anual é de 20 °C e a pluviosidade varia entre 1.200 e 1.400 mm.

A palavra Iracambi vem do Tupi Ira (=mel) e Cambi (=leite). A associação possui uma sede administrativa no município de Rosário da Limeira, fica localizada na comunidade da Buracada, à 12 km do centro da cidade, onde se encontra também o Centro de pesquisa, alojamentos, refeitório, viveiro de mudas, trilhas e a RPPN.

As RPPNs (Reserva Particular do Patrimônio Natural) são uma ótima modalidade de Unidade de Conservação, pois, além de conservarem um pouco do bioma, valorizam a propriedade, tornando cada vez mais interessados em criar reservas, que também é interessante a todos. Além da RPPN

Iracambi, outra próxima, a 5 km, a RPPN Pico do Graminha também deve sua existência a Associação Amigos Iracambi, ambas protegem grandes fragmentos de Mata de Encosta (Floresta Estacional Semi-decidual Sub-montana), Campos de Altitude, Área de Transição (campo de altitude e mata de encosta), a RPPN Pico do Graminha, mais recente, possui uma área de pastagem que será reflorestada de vários métodos que serão testados e estudados.


A comunidade que viveu em épocas passadas de poucos recursos nessa região, tinha a favor a diversidade vegetal que a Mata de Encosta os fornecia para interagir e tirar proveitos, um dos mais interessantes proveitos destes é o uso de vegetais para automedicação, a Mata de encosta é um dos tipos vegetacionais mais Biodiversos que existem se tratando de vegetais, e está em um dos Biomas mais Biodiversos, a Mata Atlântica.

Dentre muitos trabalhos, visitas de pesquisadores e colaboradores como moradores da região, o muito que se sabe parece pouco diante da diversidade vegetal, também é impressionante a variedade de finalidades úteis que os vegetais proporcionam para o homem: Alimentação, materiais, ferramentas e a medicina popular com muitas medicações e diferentes vegetais.

Na região ocorre um caso muito curioso de confusão entre duas espécies com o mesmo nome popular em comum: Espinheira Santa, a verdadeira, *Maytenus ilicifolia*, que é uma Celastraceae e a *Sorocea bonblandii* que é uma Moraceae, que não possui os mesmos princípios ativos, mesmo assim é chamada também de espinheira santa e vem sendo usada por engano na região.

A flora da RPPN Iracambi é muito rica em plantas que têm uso e eficácia medicinal, abaixo – a título de exemplo – apresentamos algumas de suas plantas das quais as populações fazem uso para enfrentar algumas enfermidades:

- ▶ Braço-de-mono/parnacéia - *Solanum* sp. (Solanaceae) – Usado como depurativo do sangue (chá das folhas e cascas).
- ▶ Cana-de-macaco - *Costus spiralis* (Zingiberaceae) - Combate cálculos renais (chá das folhas e ramos). Herbácea, forma touceiras, decumbentes com até 3 m.
- ▶ Capeva - *Pothomorphe umbellata* (Piperaceae) – Diurética (chá das folhas e ramos). Arbusto, com até 3m.
- ▶ Cipó de São João - *Pyrostegia venusta* (Bignoniaceae) – Combate o vitiligo (chá das folhas) e anti-diarreico (chá do caule). Trepadeira. Por produzir quantidade significativa de néctar açucarado, é comum ver pessoas eventualmente apanhando alguma flor para saborear o néctar.
- ▶ Ipê Roxo - *Tabebuia impetiginosa* (Bignoniaceae) - Usado no combate a Alergia e coceiras. Árvore, com até 20 m.
- ▶ Jaborandir ou João Borandir - *Piper* sp. (Piperaceae) – Anestésico (raízes e ramos). Arbusto, com até 1m. Eram inseridas pequenas farpas da parte central das raízes entre os dentes e a gengiva, para aliviar a dor durante a extração de dentes, isso era feito pelos indígenas e descendentes.
- ▶ Japacanga - *Smilax pilosa* (Smilacaceae) - Utilizados no combate a sífilis e depurativo do sangue (pó de folha desidratada e chá da mesma). Trepadeira. É uma espécie endêmica da Serra do Brigadeiro.
- ▶ Joá - *Physalis angulata* (Solanaceae) - Benéfico ao fígado (Consumo dos frutos maduros *in natura*). Herbácea.
- ▶ Jurubeba - *Solanum paniculatum* (Solanaceae) – É benéfica ao fígado (chá das folhas, ramos e raízes). Sub-arbusto, com até 4 m.
- ▶ Maracujá-do-mato - *Passiflora alata* (Passifloraceae) – Calmante (chá das folhas e suco dos frutos). Trepadeira.

- 
- ▶ Pacová do Mato - *Renealmia* sp. (Zingiberaceae) - Utiliza-se como depurativo para o sangue, vaso-dilatador e estimulante sexual (Chá dos frutos e das raízes); Herbácea, com até 1 m.
  - ▶ Pau-colher - *Bathysa meridionalis* (Rubiaceae) - Utiliza-se o líquido viscoso, que fica localizado dentro de uma bráctea que protege as novas folhas como cicatrizante poderoso. Árvore, com até 10 m.
  - ▶ Quina - *Bathysa*. cf. *australis* (Rubiaceae) – Combate dores e inflamações (chá da casca do tronco). Árvore, com até 10m.

# CONSERVACIÓN DE FLORA EN LAS RESERVAS PARTICULARES DEL PATRIMONIO NATURAL (RPPN) DEL BIOMA MATA ATLÁNTICA, BRASIL

**Maria Cristina Weyland Vieira<sup>1,2</sup>;**  
**Jorge Pedro Pereira Carauta (*in memoriam*)<sup>1</sup>;**  
**Pe. Lauro Palu<sup>1</sup>; Andressa Novaes<sup>3</sup> Elton Nascimento<sup>3</sup> e Sara Martins<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Associação de RPPN e outras Reservas Privadas de Minas Gerais, Monte Belo, Brasil.

<sup>2</sup>Instituto Sul Mineiro de Estudo e Conservação da Natureza, Monte Belo, Brasil.

<sup>3</sup>Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

## Introducción

“La Reserva Particular del Patrimonio Natural (RPPN) es un tipo de área protegida de uso indirecto, así como los parques nacionales, establecida sobre propiedad particular por voluntad expresa de su propietario, sea persona natural o jurídica, con el objetivo de proteger y conservar muestras de los ecosistemas para las presente y futuras generaciones. La gestión y la protección de las RPPN son responsabilidad del propietario, cabiendo al poder público el deber de orientar, fiscalizar y apoyar las acciones necesarias para el cumplimiento de sus objetivos” (Mesquita, 2004).

Las RPPN han sido establecidas por el Decreto Ley 98.914 del 31 de enero de 1990 que reglamentó de manera definitiva el artículo del Código Forestal que permitía el establecimiento de áreas protegidas por iniciativa privada. En el Decreto se determinó las actividades permitidas en las RPPN que son: investigación científica, educación ambiental, y ecoturismo.

Las áreas que son reconocidas como RPPN deben cumplir con algunas condiciones como ser consideradas como de gran importancia para la conservación y protección de la biodiversidad.

Con el fin de rescatar el conocimiento existente sobre la importancia de las RPPN para la Conservación de la Flora Brasileña fue realizada una investigación sobre los estudios de Biodiversidad de Flora en las RPPN del Bioma Mata Atlántica y su rol para la conservación de especies, especialmente las amenazadas de extinción así como su contribución para la descubierta de nuevas especies para la Ciencia.

## Antecedentes

Los inventarios de flora en las “Reservas Particulares de Patrimonio Natural” - RPPN del Bioma Mata Atlántica en Brasil han producido resultados expresivos. Estos datos han sido presentados en dos publicaciones del “Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlántica”. La 1ª publicación, ha sido, en 2004, el “Caderno nº 28 del Consejo Nacional de la Reserva de la Biosfera”, el 1º número

dedicado especialmente a las Reservas Particulares del Patrimonio Natural. La 2ª publicación ha sido el Caderno nº 35 divulgado en el VIII Congreso Interamericano de Conservación en Tierras Privadas. Esta investigación es un proyecto del “Instituto Sul-Mineiro de Estudos e Conservação da Natureza” en su programa de Conservación en Tierras Privadas. Colaboradores de varias RPPN han fornecido información sobre las investigaciones científicas en ella promovidas y los resultados sobre la biodiversidad, especies en riesgo de extinción y especies nuevas para las dos publicaciones citadas.


Las RPPN del Bioma Bosque Mata Atlántica que son citadas en relación a su biodiversidad y contribución para la conservación y para la descubierta de nuevas especies son listadas en el Cuadro 1.

## Biodiversidad

El inventario da la flora da la RPPN Cafundó reveló 187 especies. En los levantamientos para la Flora Ilustrada Catarinense Veloso y Klein han identificado 154 especies de plantas en 52,8 mil m<sup>2</sup> de área en la RPPN Chácara Edith demostrando la diversidad de ambientes que ha propiciado alta densidad de especies.

**Cuadro 1.** Localización de las RPPN brasileñas.

RPPNs	Estado	Región
Cafundó	Espírito Santo	Sudeste
Chácara Edith	Santa Catarina	Sul
Comodato Reserva do Peti	Minas Gerais	Sudeste
Estação Vera Cruz	Bahia	Nordeste
Fazenda Bitury	Pernambuco	Nordeste
Fazenda Lagoa	Minas Gerais	Sudeste
Fazenda Morro Sapucaia	Rio Grande do Sul	Sul
Feliciano Miguel Abdalla	Minas Gerais	Sudeste
Frei Caneca	Pernambuco	Nordeste
Guilman Amorin	Minas Gerais	Sudeste
Mira Serra	Rio Grande do Sul	Sul
Morro das Aranhas	Santa Catarina	Sul
Panelão dos Muriquis	Minas Gerais	Sudeste
Reserva Natural Salto Morato	Paraná	Sul
Reserva Natural da Serra do Teimoso	Bahia	Nordeste
Reserva Paisagem Araucária – Papagaio-do-Peito-Roxo	Paraná	Sul
Rio das Lontras	Santa Catarina	Sul
Rizzieri	São Paulo	Sudeste
Santuário do Caraça	Minas Gerais	Sudeste
Serra Bonita, Serra Bonita I, II, III	Bahia	Nordeste
Sítio dos Borges	Minas Gerais	Sudeste



La RPPN Comodato Reserva do Peti ha sido criada por su propietaria, la Compañía Eléctrica de Minas Gerais para ser un centro de investigación de fauna y flora nativas. Los resultados de los inventarios revelaron 502 especies vegetales.

En la RPPN Estação Veracruz por medio de colaboración entre la empresa Veracel, su propietaria y las universidades y centros de investigación han sido catalogadas cuasi 300 especies de árboles.

El trabajo publicado sobre las plantas vasculares de las “florestas serranas” de Pernambuco han revelado la existencia de 200 especies en los límites de la RPPN Fazenda Bitury.

RPPN Fazenda Lagoa - Los inventarios florísticos han retratado más de 100 especies de árboles y las exicatas están depositadas en el Herbario del Jardín Botánico del Rio de Janeiro.

En la RPPN Fazenda Morro Sapucaia han sido identificadas 319 especies de plantas de 89 familias botánicas.

Los inventarios florísticos de la RPPN Feliciano Miguel Abdalla han retratado 810 especies (Lombardi & Gonçalves) depositadas en el Herbario del Departamento de Botánica de la Universidad Federal de Minas Gerais: Familia Leguminosa con 99 especies de 51 géneros; Pteridofitas: 81 especies, distribuidas en 16 familias e 38 géneros, algunas de ellas como 1ª referencia para Minas Gerais.

La RPPN Frei Caneca posee 86% de las especies de bromélias registradas para el estado de Pernambuco y es la primera más grande riqueza en número de géneros poro unidad de área en Brasil.

La RPPN Morro das Aranhas dispone de un Núcleo de Ecología con profesionales de la área ambiental. El Laboratorio de Ecología ha registrado en sus pesquisas científicas los siguientes datos de biodiversidad: 50 especies de árboles, 85 especies de orquídeas, 25 especies de bromelias, 65 especies de plantas medicinales,

En la RPPN Panelão dos Muriquis han sido identificadas 1600 especies de plantas divididas en 107 familias de plantas superiores y 34 familias de plantas inferiores destacando-se las 170 especies de orquídeas, algunas endémicas.

La RPPN Reserva Natural Salto Morato posee más de 650 especies vegetales vasculares identificadas.

En la RPPN Reserva Natural da Serra do Teimoso han sido realizadas varias investigaciones, pesquisa, destacándose dos disertaciones de maestría además de otros estudios y trabajos presentados en congresos y artículos publicados en revistas científicas internacionales. El inventario de la flora en 600 especies.

Como resultado del levantamiento fitosociológico realizado en la RPPN Reserva Paisagem Araucária – Papagaio-do-Peito-Roxo han sido identificadas 62 especies de árboles y muchas especies arbustivas y herbáceas.

En el inventario florístico e forestal da la RPPN Rio das Lontras, han sido identificadas 101 especies de 42 familias botánicas incluyendo individuos de varias sinúsias (trepaderas, epífitas, arbóreas, arbustos, y otros). La flora arbórea, con 71 especies, se distribuía en 50 géneros de 31 familias, con una Pteridophyta y 30 Magnoliophyta.

En el levantamiento florístico de la RPPN Rizzieri, a ser publicado en la Revista Brasileña de Botánica, han sido identificadas 114 especies de 39 familias y 86 géneros. Las familias de más grande riqueza específica han sido: Myrtaceae, Lauraceae, Rubiaceae, Fabaceae, Sapotaceae y Moraceae.

En la RPPN Santuário do Caraça, considerada la más importante por su biodiversidad, han sido registradas 237 especies de pteridofitas, más de 1.400 especies de fanerógamas. Las familias con más grande riqueza de especies son las Orchidaceae (205 especies), Bromeliaceae, Eriocaulaceae, Rubiaceae y Melastomataceae.

## Especies de la Flora amenazadas de extinción

En Pernambuco, Nordeste de Brasil, ha sido publicada una lista de la Flora Amenazada de los "Brejos de Altitude" basada en lo levantamiento florístico realizado en la RPPN Fazenda Bitury (Sales *et al.* 1998).

La RPPN Fazenda Lagoa conserva poblaciones de dos especies de árboles en riesgo de extinción como el "Jequitibá rosa" - *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze - Lecythidaceae y la "Canela sassafrás" (*Ocotea odorifera*, Lauraceae), citadas en la publicación reciente del "Livro Vermelho da Flora do Brasil" (Martinelli & Moraes 2013).

En la RPPN Serra do Teimoso, Bahia, se puede observar regeneración natural de Pau-Brasil, especie famosa del Brasil, amenazada de extinción.

La RPPN Frei Caneca abriga 16 especies de bromelias amenazadas de extinción, incluyendo 6 especies endémicas del Bosque Atlántico del Nordeste de Brasil (Siqueira Filho, J.A. 2002).

En la RPPN Guilman Amorim y áreas adyacentes han sido registradas especies de árboles amenazadas de extinción como la *Dalbergia nigra* y la *Lecythis pisonis* (Información en relatorio del Sistema de Gestión Informatizada del Consorcio UHE Guilman Amorim)

La RPPN Mata do Sossego y entorno son el hábitat natural de varias especies de plantas y animales amenazados de extinción como el samambaia-açu - *Dicksonia sellowiana* (Vieira 2008).

Dentro las especies de árboles identificadas en el inventario florístico e forestal de la RPPN Rio das Lontras, *Ocotea catharinensis* y *Euterpe edulis* están en la "Instrução Normativa 06" (IBAMA 2008) como especies amenazadas de extinción.

Las especies de la flora de la RPPN Rizzieri amenazadas de extinción incluyen el Palmito-juçara (*Euterpe edulis*) y una Chrysobalanaceae - *Parinari brasiliensis* (Santos 2005).

De las especies descritas para la flora de la RPPN Santuário do Caraça, MG, 12 están en la lista de plantas amenazadas de extinción en Minas Gerais. De las 205 especies de orquídeas 9 están en la lista de especies amenazadas del estado de Minas Gerais (Vieira, 2008).

En la RPPN Sítio dos Borges, Itabira, MG han sido identificadas poblaciones muy importantes de *Vellozia gigantea*, especie endémica y amenazada de extinción de los campos rupestres de Minas Gerais juntamente con especies epífitas, endémicas y amenazadas de extinción como la *Cattleya brevipedunculata* (= *Sophranitis brevipedunculata*) (Lousada. 2010).

## Especies nuevas para la ciencia

Mesquita & Vieira (2004) han divulgado los primeros datos sobre la descubierta de especies nuevas existentes en RPPN del Bioma Mata Atlántica en una publicación del Consejo de Reserva de la Biosfera de la Mata Atlántica.

En la RPPN Fazenda Bitury han sido descritas dos especies nuevas de flora: *Byrsonima pedunculata* y *Bunchosia pernambucana* y un nuevo género monotípico de Scrophulariaceae.

En la RPPN Fazenda Lagoa ha sido descubierta una nueva especie de árbol para la Ciencia - *Ficus lagoensis* - higuera (Moraceae) descrita por el Botánico J.P.P. Carauta, que ha también identificado en la RPPN una segunda especie por ser descrita - *Urera* sp. Una especie de la familia Urticaceae (Laurindo *et al.* 2014).

Entre las especies endémicas de Pernambuco (Nordeste de Brasil), destacan-se tres especies que existen exclusivamente en la RPPN Frei Caneca: *Masdevalia gomesii-ferreirae*, *Phleurothallis gomesii-ferreirae* (Orchidaceae) e *Neoregelia pernambucana* (Bromeliaceae). En esta misma RPPN han



sido también descritas 2 nuevas especies de Bromelias: *Neoregelia pernambucana* e *Aechmea gustavoii*. La etimología es un homenaje al propietario de la RPPN, Gustavo Barros, un entusiasta en la preservación de los remanentes de los bosques de la región. (Siqueira Filho, 2002).

Un proyecto desarrollado en la RPPN Feliciano Miguel Abdalla ha descubierto en 1974 una nueva especie de árbol de la familia Chrysobalanaceae - *Couepia monteclarensis*.

De las 600 especies de flora de la RPPN Reserva Natural da Serra do Teimoso, 6 especies son nuevas para la Ciencia.

En la RPPN Santuário do Caraça han sido encontradas especies nuevas de flora: líquenes, varias orquídeas, una amarilidácea, etc.

## Conclusión

Los resultados presentados son tan solamente una introducción a este vastísimo campo de investigación sobre la contribución de las Reservas Privadas de Brasil a la Conservación de la Biodiversidad del País. En el futuro, con la evolución de la investigación de los datos en colaboración con propietarios y investigadores científicos así como con la ampliación de las investigaciones científicas en las RPPN de Brasil el conocimiento sobre la valiosa biodiversidad protegida en las reservas privadas brasileñas va a ser cada vez más conocida y divulgada.

## Agradecimientos

A todos los que colaboraron en la divulgación de los datos de biodiversidad de las RPPN descritas.

## Referencias

- IBAMA. 2008. **Lista Oficial de Espécies Brasileiras Ameaçadas de Extinção**. Instrução Normativa MMA nº 6 de 23 de setembro de 2008.
- Laurindo, R.S.; Novaes, R.L.M. & Vieira, M.C.W. 2014. **RPPN Fazenda Lagoa – Educação , Pesquisa e Conservação**. Monte Belo: Instituto Sul-Mineiro de Estudos e Conservação da Natureza.
- Lombardi, J.A. & Gonçalves, M. 2000. **“Composição florística de dois remanentes de Mata Atlântica do sudeste de Minas Gerais, Brasil”** – Revta Brasil. Bot., São Paulo, V.23, n.3, p. 255-282.
- Lousada, J. M. 2010. Genética da conservação de duas espécies de *Vellozia* (Velloziaceae), *V. gigantea* e *V. compacta*, endêmicas dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.
- Martinelli, G. & Moraes, M.A. 2013. **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Mesquita, A.C.B.; Vieira, M.C.W. 2004. **RPPN – Reservas Particulares do Patrimônio Natural da mata atlântica**. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Caderno 28. São Paulo: Novofotolito Editora Gráfica Ltda.
- Mesquita, C. A. B. **“RPPN da Mata Atlântica – Um Olhar sobre as Reservas Particulares dos Corredores de Biodiversidade Central e da Serra do Mar”**. Aliança da Mata Atlântica. Fundação SOS Mata Atlântica. Conservação Internacional. Belo Horizonte. 2004.
- Sales, M. F.; Mayo, S.J.; Rodal, M.J.N. 1998. **Plantas Vasculares das Florestas Serranas de Pernambuco - Um Checklist da Flora Ameaçada dos Brejos de Altitude de Pernambuco**. Recife: Imprensa Univ.



- Santos, F.S. 2005. **Composição florística do estrato arbóreo da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Rizzieri, São Sebastião-SP.** Resumos do 56º Congresso Nacional de Botânica. Curitiba. PR.
- Siqueira Filho, J.A. 2002. Bromélias em Pernambuco: Diversidade e aspectos conservacionistas. Pp. 219-228. In: Tabarelli, M. & Silva, J.M.C. (Orgs.). **Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco.** Recife, Massangana.
- Vieira, M.C.W. 2008. **RPPN – Reservas Particulares do Patrimônio Natural em destaque na Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica.** Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Caderno 35. São Paulo: Kaco Gráfica e Editora.



ISBN 978-85-60428-09-0



Realização:



Apoio Institucional:



Patrocínio:



Governo do Estado da Bahia

