



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA
MADERA**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA

**“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE DOS
ESPECIES *Cordia elaeagnoides* DC y *Pithecellobium acatlense*
Benth”**

TESIS

Que para obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Presenta

Ing. Serafín Colín Urieta

Director

Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones

Asesores

Dr. Pablo López Albarrán

Dra. Lada Domratcheva Lvova

Morelia, Michoacán, Febrero 2008

INDICE

“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES *Cordia elaeagnoides* DC y *Pithecellobium acatlense* Benth”

	Página
1 INTRODUCCIÓN	1
2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ESPECIES	3
3 ANTECEDENTES	11
4 OBJETIVOS	15
5 METODOLOGÍA	16
5.1 Recolección y preparación del material de estudio	16
5.2 Identificación de las muestras botánicas	16
5.3 Análisis químico	19
5.3.1. Acondicionamiento de la muestras	19
5.3.2 Determinación del pH	19
5.3.3 Contenido de cenizas	20
5.3.4 Extracción de sustancias extraíbles	20
5.3.5 Lignina	21
5.3.6 Holocelulosa	21
5.4 Eficacia de los extractos del duramen contra el crecimiento del hongo <i>Tremetes versicolor</i> .	22
5.4.1 Desarrollo del experimento	22
5.4.2 Actividad antifúngica	25
6 RESULTADOS	26
6.1 Propiedades químicas de las especies	26
6.1.1 pH	26
6.1.2 Cenizas	28
6.1.3 Sustancias extraíbles	30
6.1.4 Lignina	32
6.1.5 Holocelulosa	34
6.2 Actividad antifúngica del los extractos del duramen frente al hongo de pudrición blanca <i>trametes versicolor</i> .	36
6.2.1 Extractos ciclohexánicos	36
6.2.2 Extractos acetónicos	37
6.2.3 Extractos metanólicos	38
7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
8 CONCLUSIONES	47
9 BIBLIOGRAFÍA	48
10 APÉNDICE	52

INDICE DE FIGURAS

“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES *Cordia elaeagnoides* DC y *Pithecellobium acatlense* Benth”

Figura	Página	
1	Árbol de <i>Cordia elaeagnoides</i>	3
2	Corteza de <i>Cordia elaeagnoides</i>	4
3	Madera de <i>Cordia elaeagnoides</i>	4
4	Hojas de <i>Cordia elaeagnoides</i>	5
5	Flores de <i>Cordia elaeagnoides</i>	6
6	Distribución de <i>Cordia elaeagnoides</i>	6
7	Casa de madera de <i>Cordia elaeagnoides</i> del municipio de Huetamo, Mich.	7
8	Árbol de <i>Pithecellobium acatlense</i>	8
9	Hojas de <i>Pithecellobium acatlense</i>	9
10	Fruto de <i>Pithecellobium acatlense</i>	9
11	Distribución de <i>Pithecellobium acatlense</i>	10
12	Sitio de colecta Huetamo Mich	16
13	Rodajas de madera de las especies	19
14	Potenciómetro	19
15	Determinación de cenizas	20
16	Equipo Soxhlet	20
17	Rotavapor	20
18	Determinación del contenido de Lignina	21
19	Determinación del contenido de Holocelulosa	21
20	Medio de cultivo	22
21	Autoclave	22
22	Campana de flujo laminar	22
23	Extractos 30g/L y 300g/L	22
24	Medio de cultivo	23
25	Asa micológica de inoculación	23
26	Inoculación del hongo	23
27	Estufa (incubadora)	24
28	Crecimiento de hongos	24
29	Vernier, medición del crecimiento	24
30	Diagrama del estudio de la actividad antifúngica	25
31	Valores de pH de las especies	27
32	Efecto de las especies sobre el pH	27
33	Interacción de las zonas sobre el pH	28
34	Porcentaje de cenizas en las especies	28
35	Efecto de las especies sobre Cenizas	29
36	Interacción de las zonas sobre Cenizas	29
37	Sustancias extraíbles presentes en las zonas de cada especie.	30
38	Porcentaje de sustancias extraíbles totales en las especies	31
39	Efecto de las especies sobre los extraíbles	32
40	Interacción de las zonas sobre los extraíbles	32

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
41	Porcentaje de lignina en las especies	33
42	Efecto de las especies sobre la lignina	33
43	Interacción de las zonas sobre la lignina	34
44	Porcentaje de lignina en las especies	34
45	Efecto de las especies sobre la holocelulosa	35
46	Interacción de las zonas sobre la holocelulosa	35
47	Dinámica de crecimiento del hongo <i>T. versicolor</i> con los extractos ciclohexánicos	36
48	Cinética de la actividad antifúngica con el extracto ciclohexánico	37
49	Dinámica de crecimiento del hongo <i>T. versicolor</i> con los extractos acetónicos	37
50	Cinética de la actividad antifúngica con el extracto acetónico	38
51	Dinámica de crecimiento del hongo <i>T. versicolor</i> con los extractos metanólicos	39
52	Cinética de la actividad antifúngica del extracto metanólico	39
53	Dinámica de crecimiento del hongo <i>T. versicolor</i> con todas las condiciones	40
54	Cinética de crecimiento con los extracto que tuvieron efecto	40

INDICE DE CUADROS

“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES *Cordia elaeagnoides* DC y *Pithecellobium acatlense* Benth”

Cuadro	Página
1 Resultado del análisis químico básico	26
2 Anova de las especies sobre la variable pH	27
3 Anova de las especies sobre la variable cenizas	29
4 Porcentaje de la cantidad de sustancias extraíbles presentes en las especies	30
5 Anova de las especies sobre la variable extraíbles	31
6 Anova de las especies sobre la variable lignina	33
7 Anova de las especies sobre la variable holocelulosa	35
8 Actividad antifúngica para los extractos ciclohexánicos	36
9 Actividad antifúngica para los extractos acetónicos	38
10 Actividad antifúngica para los extractos metanólicos	39
11 Porcentaje de extraíbles en maderas tropicales por diferentes solventes	44

1. INTRODUCCIÓN

La madera está compuesta de forma general por tres grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, poliosas (hemicelulosas) y ligninas, que están presentes en todas las maderas; el otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molecular conocidas también como sustancias extraíbles (hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos alifáticos, ceras, glicéridos, y compuestos nitrogenados), que se encuentran en menor cantidad, y las sustancias minerales (Hillis 1971; Fengel, Wegener 1984).

El término durabilidad se aplica a la resistencia presentada por las maderas a los factores de deterioro, la cual es expresada como el tiempo que esta dura en uso sin algún tratamiento de preservación. Por su naturaleza orgánica la madera es capaz de ser degradada por microorganismos (bacterias y hongos) e insectos. La pudrición por hongos es uno de los factores más importante que afecta la durabilidad de la madera si esta presenta condiciones adecuadas de alimento, humedad, aire, así como un pH apropiado. Los hongos pueden consumir las paredes celulares a través de la secreción de enzimas, que disuelven sustancias orgánicas y una vez transformadas pueden ser asimiladas. El contraste en la durabilidad de las maderas se debe principalmente a la diferencia en contenidos de extractivos tóxicos (Tsoumis, 1991).

Los preservadores de madera convencionales han proporcionado la protección excelente contra organismos que degradaban madera, sin embargo, la desconfianza pública en hechos probados ha ido en aumento sobre estos productos químicos, animado una búsqueda para encontrar nuevos productos biocida de origen vegetal permitiendo aprovechar las capacidades fisiológicas de los organismos. Además de que solo se han evaluado una pocas especies en comparación con las existentes en el planeta lo que mantendrá el interés científico por descubrir nuevas alternativas que busquen mantener un nuevo equilibrio entre confort y medio ambiente.

La distribución de los componentes químicos de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina) pueden ser determinados por varios métodos, generalmente por el uso de madera reducida a pequeñas partículas, una vez que han sido lixiviados los extraíbles en su mayoría por medio de diferentes solventes orgánicos, se puede determinar la proporción de estos componentes. Las proporciones obtenidas presentarán una variación relacionado con el método de evaluación utilizado (Poblete *et. al.*, 1991).

Todo este panorama indica que la investigación forestal deberá centrar su atención en obtener del árbol todo lo que este le puede proporcionar al hombre, siempre que los mecanismos que se utilicen sean respetuosos con el ambiente.

En el presente trabajo se planteó determinar la composición química de las especies tropicales maderables *Cordia elaeagnoides* DC y *Pithecellobium acatlense* Benth; ambas especies presentan una alta durabilidad, se distribuyen sobre la Selva mediana subcaducifolia y baja caducifolia, constituyéndose como especies dominantes.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ESPECIES

2.1 Taxonomía de *Cordia elaeagnoides* (Sistema de clasificación de Cronquist, 1981 citado por Jones, 1987)

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Lamiales

Familia: Boraginaceae

Género: *Cordia*

Especie: *Cordia elaeagnoides* DC.

Nombres comunes (Pennington y Sarukhán, 2005): Bocote, bojote, cueramo (nombre común de la región de colecta) (Michoacán, Guerrero, Oaxaca); gretaña, grisiño (Chiapas); guiri-xina (zapoteco, Oaxaca), ocotillo (Oaxaca); ocotillo meco (Oaxaca.),

2.1.1 Descripción botánica de la especie (Pennington y Sarukhán 2005)

Forma biológica

Árbol de hasta 20 m y d.a.p. de hasta 30 cm, tronco derecho, con ramas gruesas y horizontales y la copa dispersa (figura 1).



Figura 1 Árbol de *Cordia elaeagnoides*

Corteza

Externa fisurada con las costillas escamosas y suberificadas, pardo grisáceas. Interna de color crema amarillenta, que cambia a pardo, laminada, amarga. Grosor total de la corteza 13 mm (figura 2).



Figura 2 Corteza de *Cordia elaeagnoides*

Madera

Albura de color crema pardusco, con vasos grandes, parénquima vacicéntrico y bandas de parénquima apotraqueal y rayos conspicuos. Madera dura (figura 3).



Figura 3 Madera de *Cordia elaeagnoides*

Ramas jóvenes

Grises a verde grisáceas cuando jóvenes, escasas lentécelas en las partes jóvenes pero abundantes y pálidas en las viejas, con abundante pubescencia adpresa.

Hojas

Yemas de 4 a 10 mm de largo, ovoides, desnudas, grises con pubescencia adpresa. Estipulas ausentes. Hojas dispuestas en espiral, simples; láminas de 6.5 X 3 a 14 X 6.5 cm, ovadas o elípticas, con el margen entero, ápice acuminado, base cortante atenuada; verde oscuro en el haz, grisáceas en el envés, haz con escasos pelos adpresos o glabra, envés seríceo con abundantes pelos adpresos, nervadura prominente en el envés, con pelos largos y erectos en el nervio central; abundantes puntos glandulosos transparentes; pecíolos de 2 a 4 centímetros de largo, grisáceos, pubescentes. Los árboles de esta especie pierden las hojas durante la época de sequía (abril a junio) (figura 4).



Figura 4 Hojas de *Cordia elaeagnoides*

Flores

En amplias panículas axilares o terminales de 10 a 20 cm de largo, grises pubescentes; pedicelos de 2 a 5 mm de largo; flores actinomorfas de 2 a 2.5 cm de diámetro; cáliz campanulado, de 5 a 6 mm de largo, conspicuamente costato, con 4-6 dientes ovados, irregulares densamente pubescentes; corola blanca, tubular en la parte inferior expandida en la parte superior en 5 lóbulos oblongos, obtusos, abiertos, glabros en la superficie externa, con algunos pelos en la base del tubo; estambres 5, ca. 1 cm de largo exertos, glabros, los filamentos amarillos unidos en la parte inferior en unos bordes prominentes del tubo de la corola; anteras pardas; ovarios supero, 4-locular, loculos uniovulares, estrechamente ovado glabro; estilo 2 veces bifurcado, glabro, los 4 estigmas truncados y papilosos. Florece de septiembre a diciembre (figura 5).



Figura 5 Flores de *Cordia. elaeagnoides*

Frutos

Nuececilla con todas las partes florales persistentes; los pétalos convertidos en alas pariráceas morenas de hasta 2.8 cm de diámetro; contiene hasta 4 semillas, 3mm de largo, alargadas.

Fenología

Los frutos maduran de Noviembre a Febrero.

Distribución

Se distribuye exclusivamente en la vertiente del Pacífico en Sinaloa, desde Jalisco hasta Oaxaca, incluyendo la cuenca del río Balsas. Es un conspicuo componente de la Selva mediana subcaducifolia y baja caducifolia, constituyéndose en la especie dominante en la parte expuesta de laderas y en las cimas de pequeñas lomas, sobre suelos someros de origen volcánico, metamórfico y calizo, hasta una altitud de unos 500m (figura 6).

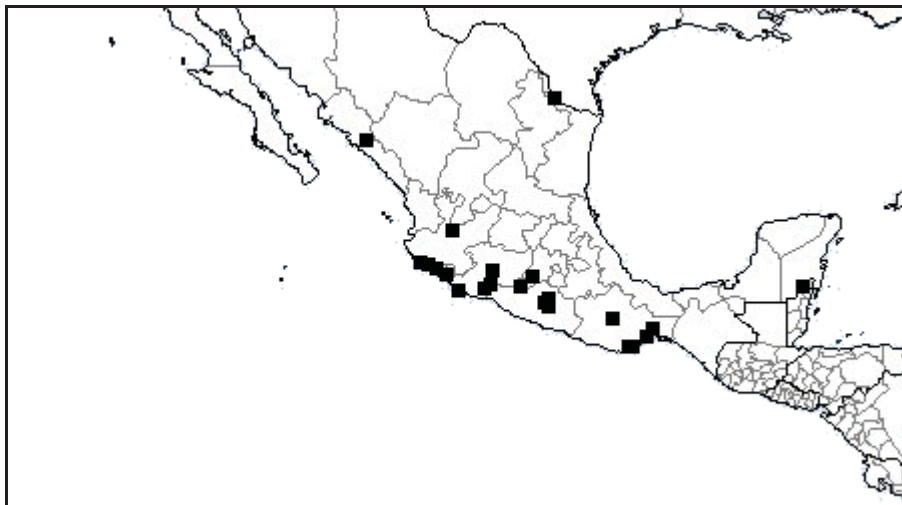


Figura 6 Distribución de *Cordia. elaeagnoides*

Usos y antecedentes de la especie

La especie *Cordia elaeagnoides* DC presenta una marcada diferencia entre albura y duramen. La albura de un color claro amarillo con un duramen castaño, con vetas en tonalidades más oscuras y otras casi negras; sin olor o sabor de brillo medio, veteado pronunciado y de hilo recto. Esta madera es muy apreciada por los artesanos por su dureza, durabilidad, veteado y acabado fino. Utilizada para la fabricación de muebles y artesanías como castañuelas, bateas así como una gran variedad de artículos torneados (Guridi 1980). Además es una especie que ha sido utilizada ampliamente en la construcción de techos de casas (figura 7). Esta especie se le protege por sus bellas flores.



Figura 7 Casa de madera de *Cordia elaeagnoides* del municipio de Huetamo. Michoacán

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ESPECIES

2.2 Taxonomía de *Pithecellobium acatlense* (Sistema de clasificación de Cronquist, 1981 citado por Jones, 1987)

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Fabales

Familia: Mimosaceae

Genero: *Pithecellobium*

Especie: *Pithecellobium acatlense* Benth

Nombre vulgar: Acinchete (conocido en el lugar de colecta)

2.2.1 Descripción botánica de la especie (Mc. Vaugh, 1987)

Forma biológica

Árbol o arbusto de 3-6 de altura (figura 8), pubescente, con ramas oscuras y espinas y por lo general conspicuas, lenticelas color claro.



Figura 8 Árbol *Pithecellobium. acatlense*

Hojas

Hojas de 3-8 cm de largo; foliolos de 6-16 pares oblongos, coriáceos, con vena notoria por debajo, abruptamente agudos, de 4-8 mm de largo y 1.3-2 (-3) mm (figura 9).



Figura 9. Hojas de *Pithecellobium acatlense*

Flores

Flores color crema tornándose amarillas al madurar, con cabezuelas de 4 a 8 flores los pedúnculos de 5 a 10 mm de largo, fasciculadas, sobre ramas laterales sobre madera vieja; cáliz suavemente pubescente con dientes estrechamente triangulares agudos de 3-5 mm de longitud; estambres de 3-4 cm de longitud, el tubo casi tan largo como la corola. Florece de marzo-mayo (-julio).

Fruto

Fruto aplanado, grueso, con 5-9 semillas, fácilmente dehiscentes, no contorto, semillas casi orbiculares en general, 11-13 mm de largo (figura10). El fruto madura de agosto-diciembre algunas veces persistente



Figura 10 Fruto de *Pithecellobium acatlense*

Los frutos de *P. acatlense* aún después de abrir son notables por lo duro, valvas rígidas, las cuales según las notas de campo de Rogers Mc. Vaughn abren en primavera en forma elástica.

Distribución

En la literatura se reporta en laderas, y en pendientes abiertas de bosque tropical desídido seco con *Bursera*, *Acacia*, *Cordia*, *Jatropha*, *Opuntia* y otras cactáceas, sobre los valles y colinas de la vertiente del Pacífico de 450-1800 m.s.n.m.

La distribución de la especie es reportada por The Missouri Botanical Garden (2008) (figura 11) solo se reporta su nombre vulgar como “acinche o cinchete”

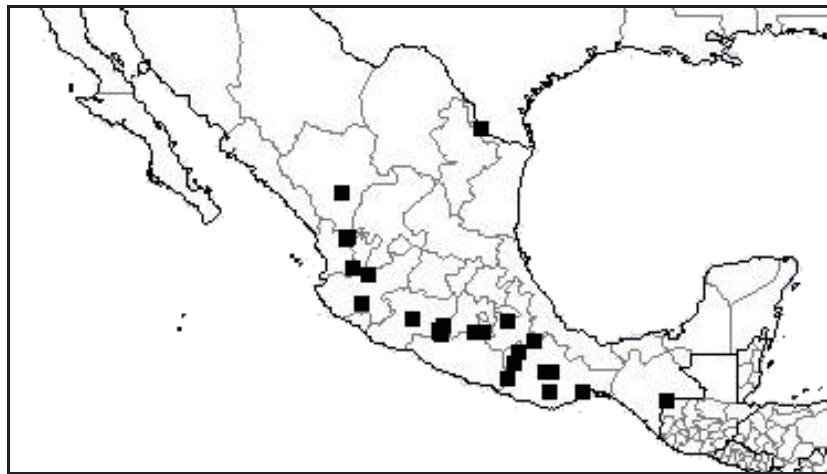


Figura 11. Distribución de *Pithecellobium acatlense*

Usos de la especie

La especie de *Pithecellobium acatlense* Benth es utilizada localmente en la fabricación de instrumentos musicales, reportada en la utilización de postes para cercas, material combustible, su corteza y raíz es utilizada en el tratamiento de diarrea, como desintoxicante y contra los padecimientos de la tifoidea (González *et.al.*2006), se destaca el gran porcentaje de duramen respecto a una pequeña porción de albura.

3. ANTECEDENTES

Los antecedentes bibliográficos encontrados se citan a continuación, mencionando primero los trabajos relacionados con la composición química de maderas tropicales, después se citan los reportes relativos al efecto de sustancias extraíbles sobre el crecimiento de hongos xilófagos finalmente durabilidad de maderas y características de los hongos xilófagos.

Sobre composición química:

Gary *et al* (1983) aislaron y caracterizaron cinco hidroquinonas del extracto éter del duramen de la madera de *Cordia elaeagnoides*.

Rutiaga (1991) determina la composición química de la madera de *Dalbergia granadillo* y de *Platymiscium lasiocarpum*.

Rutiaga *et al.* (1998a) evalúan el contenido de sustancias extraíbles en madera de *Swietenia macrophylla*.

Rutiaga *et al.* (1998b) reportan el contenido de sustancias polisacáridos encontrados en madera de *Swietenia macrophylla*.

Zizumbo (1998) reporta la composición química del duramen de la madera *Pithecellobium ebano*.

Rutiaga (2001) determina la composición química del duramen de *Cedrela odorata*, *Manilkara zapota* y *Swietenia macrophylla*.

Mondragón *et al.* (2002) reportan resultados sobre la composición química del duramen de la madera de *Lysiloma acapulcensis*.

Téllez *et al.* (2002) dan a conocer datos sobre la composición química de la madera de *Andira inermis*.

Rutiaga *et al.* (2003) reportan datos sobre el contenido de sustancia extraíbles de la madera de *Enterolobium cyclocarpum*.

Ávila *et al.* (2004) determinan la composición química del duramen de *Cestrum lanatum*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Mimosa galeotti*.

Ávila y Rutiaga (2005) dan a conocer datos relativos a la composición química de *Prunus aff. hintonii*, *Pseudobombax ellipticum* y *Thouinia villosa*.

Ávila y Rutiaga (2006) reportan datos sobre la composición química de la madera y corteza de *Haematoxylon brasileto*.

Ávila *et al.* (2006) determinan la composición química de la madera de cinco especies (*Arbutus xalapensis*, *A. glandulosa*, *Agarista mexicana*, *Clethra macrophylla*, *Persea americana*).

Colín *et al.* (2007) determinan el contenido de sustancias tánicas en la corteza de *Erythroxylon compactum* y *Senna skinneri*.

Pedraza y Rutiaga (2007) evalúan el contenido de taninos en la madera de *Haematoxylon brasileto*.

Rutiaga y Windeisen (2007) dan a conocer la cantidad de sustancias extraíbles del duramen de *Dalbergia granadillo* y de *Enterolobium cyclocarpum*.

Sobre el efecto de sustancias extraíbles de la madera sobre el crecimiento de hongos xilófagos:

Rutiaga (1991) impregnó aserrín madera de pino con extracto de etanol-benceno obtenido de la madera de *Dalbergia granadillo*, presentando alta resistencia contra el moho *Trichoderma viridis*, caso contrario mismo experimento para extractos acuosos.

Rutiaga *et al.* (1995) encontraron que los extractos ciclohexánicos y etanólicos de *Dalbergia granadillo* mostraron distintos efectos fungicidas, declinando considerablemente a bajas concentraciones. Mientras que para la madera de *Enterolobium cyclocarpum* solamente el extracto etanólico mostró efecto a baja concentración. Los extractos acuosos no mostraron efecto. De puntualizar que una fracción obtenida en una columna cromatográfica del extracto ciclohexánico destacó por su acción antifúngica.

Grohs y Kunz (1998) probaron la toxicidad de un extracto acetónico de cedro rojo, mansonia, ipe y teca contra los microorganismos *Aureobasidium pullulans*, *Ceratocystics fimbriata* y *Trichoderma harzianum*.

Chang *et al.* (2000) determinan la actividad fungicida de extractos de *Taiwania cryptomerioides* contra los hongos *Coriolus versicolor* y *Laetiporus sulphureus*.

Rutiaga (2001) prueba la actividad antifúngica de extractos en éter de petróleo, acetónico, metanólico, acuoso frío y acuoso caliente de cinco maderas, entre ellas tres tropicales (*Cedrela odorata*, *Manilkara zapota* y *Swietenia macrophylla*), contra los microorganismos *Trametes versicolor*, *Coniophora puteana* y *Chaetomium globosum*.

Torres R. *et al* (2004) investigaron el efecto antifúngico de los extractos acuosos de dos cortezas (*Mimosa biuncifera* y *Acacia angustissima*) hacia el hongo *Trametes versicolor*, utilizando concentraciones de 1.0, 0.5 y .01 g/L. Teniendo un efecto promotor al crecimiento del hongo con el extracto de *Mimosa biuncifera*, para el extracto de la especie *Acacia angustissima* presentó en general un efecto inhibitorio.

Arellano *et al.* (2007) reportan la evaluación antifúngica de los extractos de *Ebenopsis ebano* contra *Trametes versicolor*.

Rutiaga y Windeisen (2007) reportan el efecto tóxico de los extractos ciclohexánico, etanólico y acuoso de *Dalbergia granadillo* y de *Enterolobium cyclocarpum*, contra cuatro hongos (*Trametes versicolor*, *Coniophora puteana*, *Chaetomium globosum* y *Trichoderma viride*).

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la composición química de la corteza, albura y duramen de las especies *Cordia elaeagnoides* DC y *Pithecellobium acatlense* Benth y evaluar la capacidad antifúngica de los extractos obtenidos del duramen de las dos especies hacia el hongo de pudrición *Trametes versicolor*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el pH.
2. Determinar el contenido de sustancias inorgánicas.
3. Determinar el contenido de extraíbles.
4. Determinar el contenido de lignina.
5. Determinar el contenido de holocelulosa.
6. Determinar el efecto antifúngico de los extractos ciclohexánicos del duramen de las dos especies.
7. Determinar el efecto antifúngico de los extractos acetónicos del duramen de las dos especies.
8. Determinar el efecto antifúngico de los extractos metanólicos del duramen de las dos especies.

5. METODOLOGÍA

5.1 Recolección y preparación del material de estudio

Las especies arbóreas estudiadas (*C. elaeagnoides* y *P. acatlense*) se colectaron en el municipio de Huetamo, Michoacán. Los árboles fueron seleccionados siguiendo las características de presentar un fuste recto, sin plagas ni daño físico. Para el estudio químico se cortó una rodaja de 30 cm aproximadamente a partir de una altura de un metro con treinta centímetros del tocón del árbol, para cada una de las especies (figura 12).

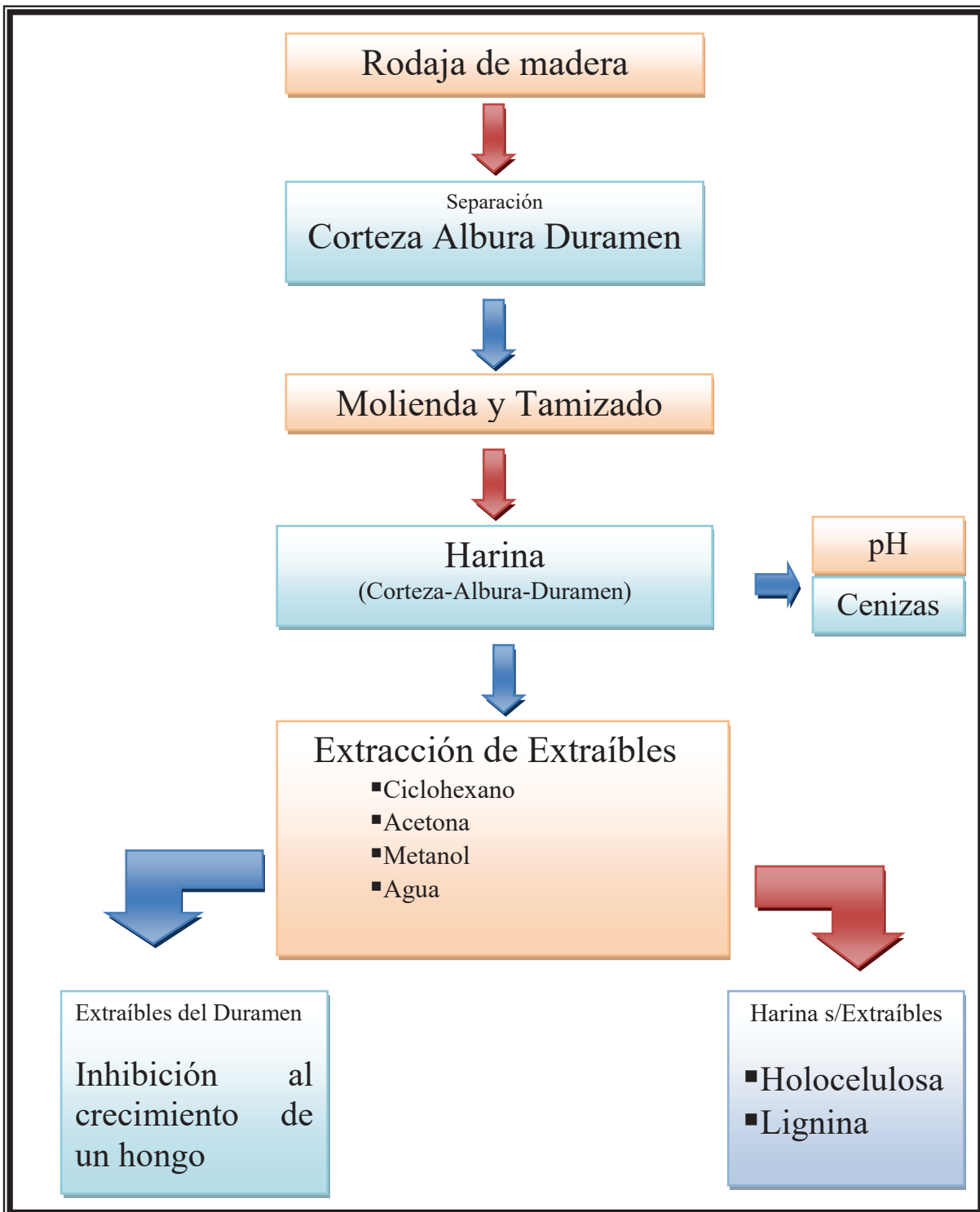


Figura12 Sitio de colecta Huetamo Mich.

5.2 Identificación de las muestras botánicas

Para la identificación botánica de las especies, se tomaron cinco ramillas por cada especie las cuales presentaron estructuras reproductivas (hojas, flor y/o fruto), para una correcta determinación botánica. Las muestras botánicas fueron identificadas con la colaboración de la M.C. Patricia Silva Sáenz. Las muestras se depositaron en el Herbario de la Facultad de Biología (EBUM) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Diagrama de flujo de la fase experimental se muestra enseguida:



Para evaluar si existían diferencias significativas sobre las características químicas en la misma especie y entre las dos especies se aplicó un diseño experimental 2 x 3 (Montgomery 1991) con una réplica.

Los análisis utilizados fueron: el análisis de varianza (ANOVA), el análisis de medias (LSD) y el análisis de las interacciones, teniendo los siguientes factores y niveles.

Factores:

A = Especies (*Cordia elaeagnoides* DC y *Pithecellobium acatlense* Benth)

B = Zona del árbol (corteza, albura y duramen)

Las variables de respuesta analizadas fueron las siguientes:

1. pH
2. Cenizas
3. Porcentaje de extraíbles totales
4. Lignina
5. Holocelulosa

5.3 Análisis químico

5.3.1. Acondicionamiento de las muestras

Las rodajas obtenidas de las especies (figura 13), fueron divididas manualmente en corteza, albura y duramen; cada una de estas partes fue astillada y posteriormente molida hasta obtener harina de madera siguiendo la norma T 257 om-85 (2000). La harina utilizada para el análisis químico fue la obtenida entre la malla 40 y 60.



Figura 13 Rodajas de madera de las especies
a.- *Cordia* b.- *Pithecelobium*

5.3.2 Determinación del pH

Se determinó el pH de cada especie, en la harina de la corteza albura y duramen, a una repetición, aplicando el método Sandermann y Rothkamm (1959) midiéndose con un potenciómetro marca HANNA, modelo pH 211 (figura 14).



Figura 14. Potenciómetro

5.3.3 Contenido de cenizas

El porcentaje de materia inorgánica presente en la harina de corteza, albura y duramen, se calculó siguiendo la norma T 211 om 93 (TAPPI 2000) (figura 15).



Figura 15. Determinación de cenizas

5.3.4 Extracción de Sustancias Extraíbles

Para determinar la cantidad de extraíbles contenida en la madera y corteza de las especies se utilizó una secuencia de extracciones con solventes de polaridad creciente (ciclohexano, acetona y metanol), utilizando un sistema continuo (equipo Soxhlet, figura 16) por un periodo de 6 horas, el cual aseguró que se retirará la mayor cantidad de extractos presentes, finalizando el ciclo de extracciones con agua caliente a reflujo. La mezcla extracto-solvente fue separada en un rotavapor (figura 17). Finalmente se colocó el matraz con el extracto en un secador hasta peso constante, para determinar los porcentajes de contenidos de extractos presentes en cada zona de las especies.



Figura 16. Equipo Soxhlet



Figura 17. Rotovapor

5.3.5 Lignina

Finalizada la secuencia de extracciones se obtuvo harina libre de extractos, la cual fue sometida para la determinación del porcentaje de lignina (figura 18) de acuerdo con la norma TAPPI 222os-74.



Figura 18. Determinación del contenido de Lignina

5.3.6 Holocelulosa

El contenido de holocelulosa presente en las zonas de las especies se obtuvo utilizando el método Wise (figura 19).



Figura 19. Determinación del contenido de Holocelulosa

5.4 Eficacia de los extractos del duramen contra el crecimiento del hongo *Tremetes versicolor*.

5.4.1 Desarrollo del experimento

Utilizando cajas Petri se evaluó el crecimiento del hongo en un medio de cultivo marca BD Bioxon (dextrosa, papa y agar) que fue previamente impregnado de extracto. El proceso experimental se llevó a cabo en una campana de flujo laminar (figura 22) la cual permitió un área de esterilización requerida para este trabajo. Se preparó el medio de cultivo (39g/L) (figura 20), posteriormente junto con las cajas Petri se colocaron en una autoclave (figura 21) a 120 °C por 15 min, proceso que permitió la esterilización del material.



Figura 20. Medio de cultivo



Figura 21. Autoclave



Figura 22. Campana de flujo

Se utilizaron dos concentraciones (300 mg/L y 30 mg/L) (Rutiaga, 2001) de los extractos ciclohexánico, acetónico y metanólico (figura 23), obtenidos del duramen de las dos especies. Los extractos se disolvieron en un matraz erlenmeyer con 1 ml de solvente igual al que se utilizó para extraer el extracto de la harina de madera, una vez disuelto el extracto se le agregaron 125 ml de medio de cultivo (dextrosa, papa y agar), se agitó dicha mezcla permitiendo que de esta forma los extractos quedaran integrados en el medio de cultivo.

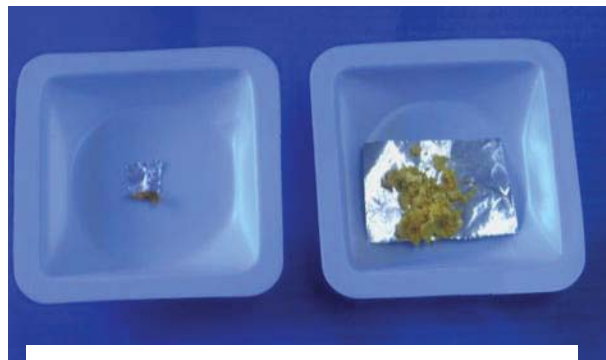


Figura 23. Extractos 30 g/L y 300 g/L

Se manejaron 5 cajas Petri para cada extracto. Cada medio de cultivo impregnado con cada uno de los tres extractos (ciclohexano, acetona y metanol) con sus dos concentraciones fue vaciado en las 5 cajas Petri, cada una con 25 ml de medio impregnado (figura 24).

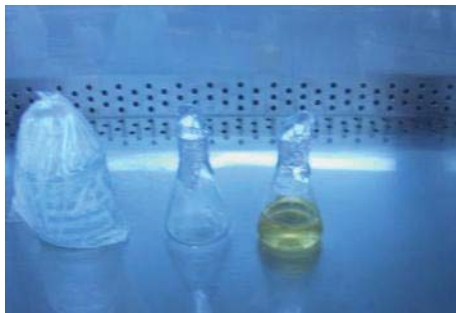


Figura 24. Medio de cultivo

Las cajas Petri con los diferentes medios de cultivo impregnados fueron inoculadas con el hongo *Tremetes versicolor* por medio de una assa micológica (figura 25). Las dimensiones del assa micológica utilizada era de 4 mm de diámetro por 6 mm de altura, permitiendo que se colocará una misma cantidad de micelio en cada una de las cajas.

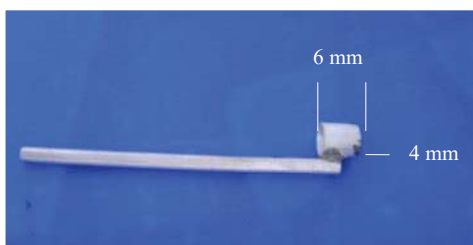


Figura 25. Assa micológica de inoculación

El hongo se colocó en la orilla de las cajas Petri (figura 26) con la finalidad de medir su crecimiento radial diario hasta que el hongo llenara el área de la caja Petri.

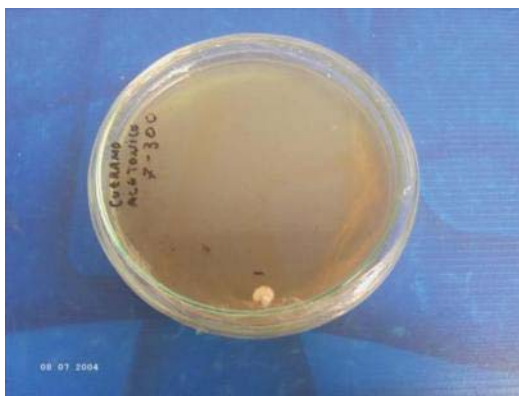


Figura 26. Inoculación del hongo

Para determinar el efecto de crecimiento de los hongos en el medio de cultivo con los extracto, se obtuvo un crecimiento testigo, donde se inoculó el hongo en cajas con medio de cultivo sin extractos (testigo-testigo). Así mismo se determinó el efecto de los solventes utilizados para disolver los extractos en el crecimiento de los hongos, realizando la misma metodología preparando las cajas petri con el medio de cultivo y el solvente, de esta experimentación se obtuvieron los testigo-ciclohexano, testigo-acetona, testigo-metanol.

La incubación de los hongos se realizó en una estufa a temperatura constante de 27°C por 13 días (figuras 27,28).



Figura 27. Estufa de incubación



Figura 28. Crecimiento de hongos

La medición del crecimiento del hongo se midió diariamente con un vernier (figura 29). Las mediciones se realizaron en milímetros por un total de 13 días.



Figura 29. Vernier; medición del crecimiento

5.4.2 Actividad antifúngica

La actividad antifúngica se evaluó mediante la siguiente fórmula (Rutiaga *et. al.* 1995):

$$\%AFA = (CC-CE)/CC*100$$

Donde:

CE = crecimiento radial del hongo en el medio que contiene el extracto.

CC = crecimiento radial del hongo en el medio de control (sin extracto)

Inicialmente se determinó si existían diferencias entre los extractos ciclohexánicos de las dos especies cada uno con sus dos concentraciones además de la muestra testigo y la muestra testigo con el solvente, de la misma forma se realizaron con los extractos acetónicos y metanólicos.

El esquema del estudio de la actividad antifúngica es mostrado en la figura 30.

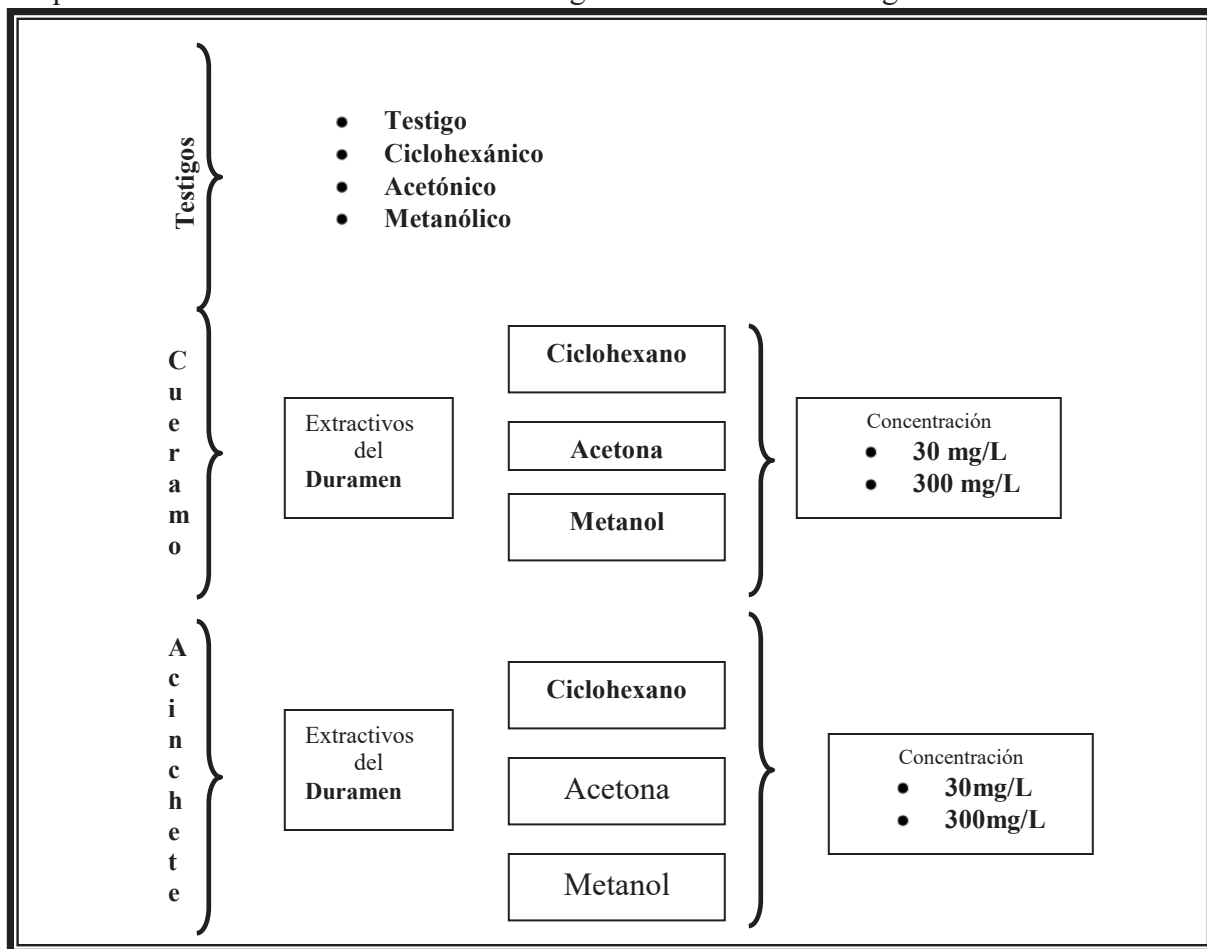


Figura 30. Diagrama del estudio de la actividad antifúngica

6. RESULTADOS

6.1 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS ESPECIES

En el cuadro 1 se muestra los valores obtenidos de la composición química básica de las dos especies de sus tres zonas (corteza, albura y duramen), señalándose los valores significativos de entre las dos especies para cada análisis incluidas las tres zonas del árbol.

Especies	pH	Cenizas (%)	Extraíbles (%)	Lignina (%)	Holocelulosa (%)
Corteza					
<i>C. elaeagnoides</i>	6.2	10.1	25.2	27.6	78.5
<i>P. acatlense</i>	4.7	6.2	38.5	28.6	71.6
Albura					
<i>C. elaeagnoides</i>	5.6	1.1	8.5	24.1	87.7
<i>P. acatlense</i>	5.1	5.4	14.7	16.8	86.3
Duramen					
<i>C. elaeagnoides</i>	5.5	1.1	10.3	28.7	76.2
<i>P. acatlense</i>	4.9	3.7	22.0	18.6	75.8

Cuadro 1. Resultado del análisis químico básico

□

Aplicando el diseño experimental 2 x 3 (Montgomery1991), se evaluó las diferencias significativas sobre las características químicas entre las dos especies.

6.1.1 pH

En la figura 31 se muestran los valores de pH obtenidos de las especies. El análisis de varianza (Anova, cuadro 2) para el valor del *pH* de la harina de las dos especies, indica que el nivel de significancia calculado (*P-Value*) para las especies y su interacción es menor de 0.05, por lo que este factor y la interacción tienen influencia sobre la variable de respuesta, mientras que para la Zona del árbol fue mayor a 0.05, es decir que este factor no tiene influencia en la variable de respuesta *pH*, dichos resultados se muestran en el cuadro. Así mismo se muestra en la figura 32 la comparación de las medias del efecto significativo, la interacción de los valores entre las zonas de cada especie con respecto a la variable pH son mostrados en la figura 33.

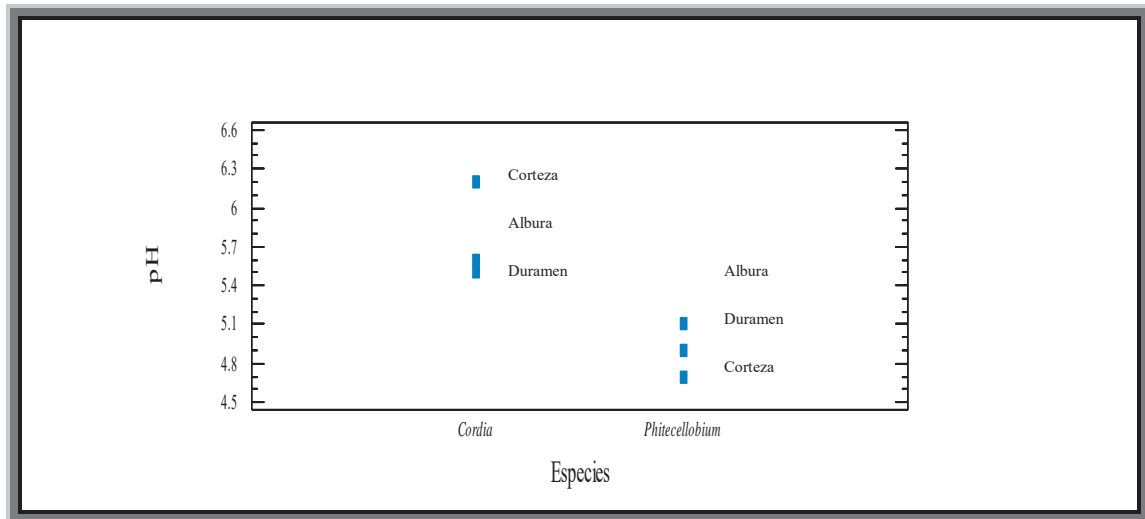


Figura 31 Valores de pH de las especies

Analysis of Variance for pH - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Especies	0.5808	1	0.5808	227.76	0.0000
B:Zona del arbol	0.0241167	2	0.0120583	4.73	0.0585
INTERACTIONS					
AB	2.04395	2	1.02198	400.77	0.0000
RESIDUAL	0.0153	6	0.00255		
TOTAL (CORRECTED)	2.66417	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Cuadro 2. Anova de las especies sobre la variable pH

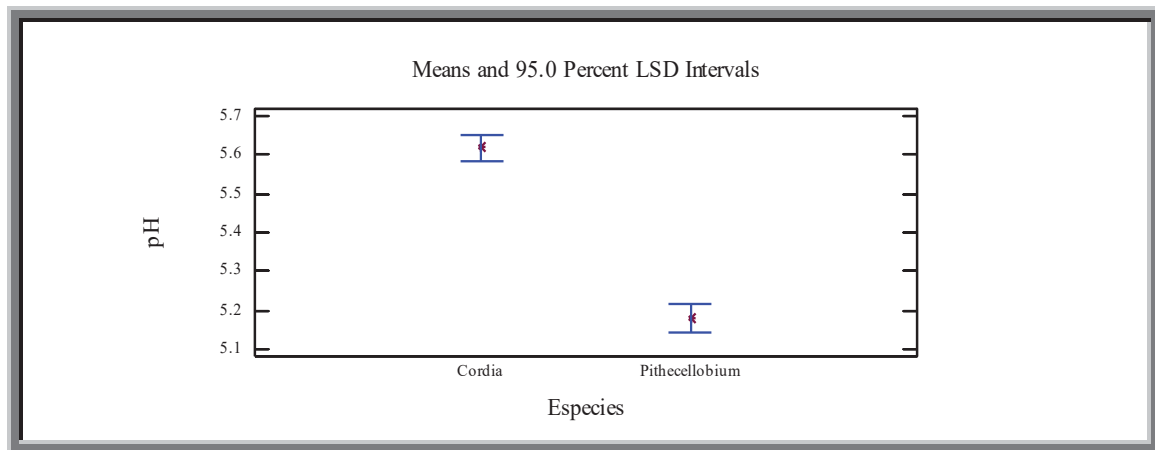


Figura 32 Efecto de las especies sobre el pH

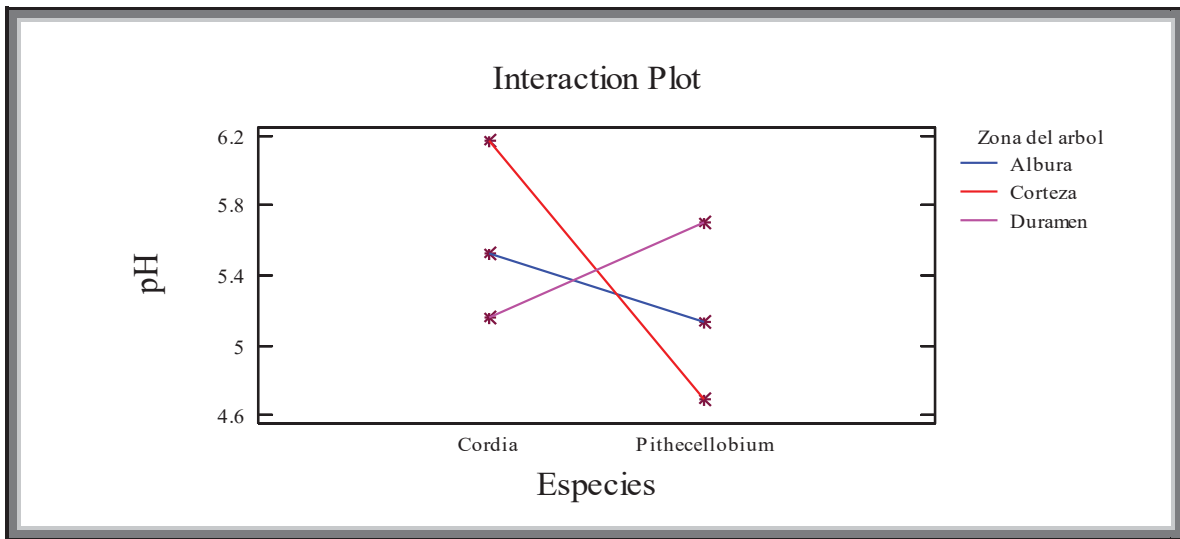


Figura 33. Interacción de las zonas del árbol sobre el pH

6.1.2 Cenizas

El porcentaje de cenizas en las especies es mostrado en la figura 34. El análisis de varianza para el por ciento de cenizas mostró que el nivel de significancia calculado (p -Value) los dos factores (Especie y Zona) y la interacción (AB) es menor a 0.05, por lo que la hipótesis respectiva es rechazada, es decir los factores (Especie y Zona) si tienen influencia en la variable de respuesta, contenido de cenizas. El cuadro 3 muestra los resultados. Las figuras 35 y 36 muestran la comparación de las medias del efecto significativo y la interacción de los valores entre las zonas de cada especie.

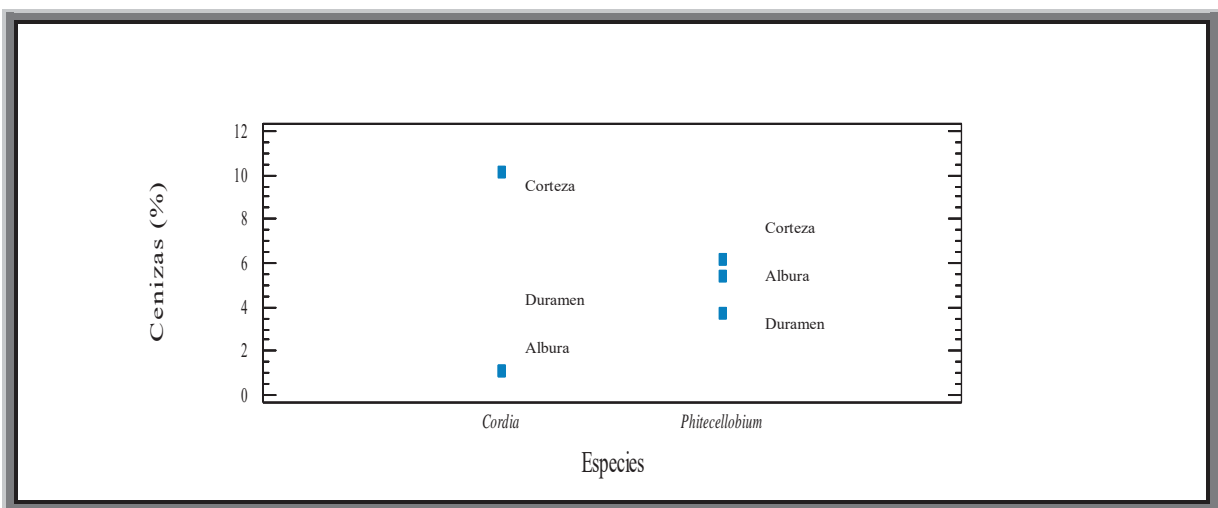


Figura 34 Porcentaje de cenizas en las especies

Analysis of Variance for Cenizas - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Especies	3.05021	1	3.05021	1112.54	0.0000
B:Zona del arbol	76.4636	2	38.2318	13944.73	0.0000
INTERACTIONS					
AB	36.2642	2	18.1321	6613.53	0.0000
RESIDUAL	0.01645	6	0.00274167		
TOTAL (CORRECTED)	115.794	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Cuadro 3. Anova de las especies sobre la variable cenizas

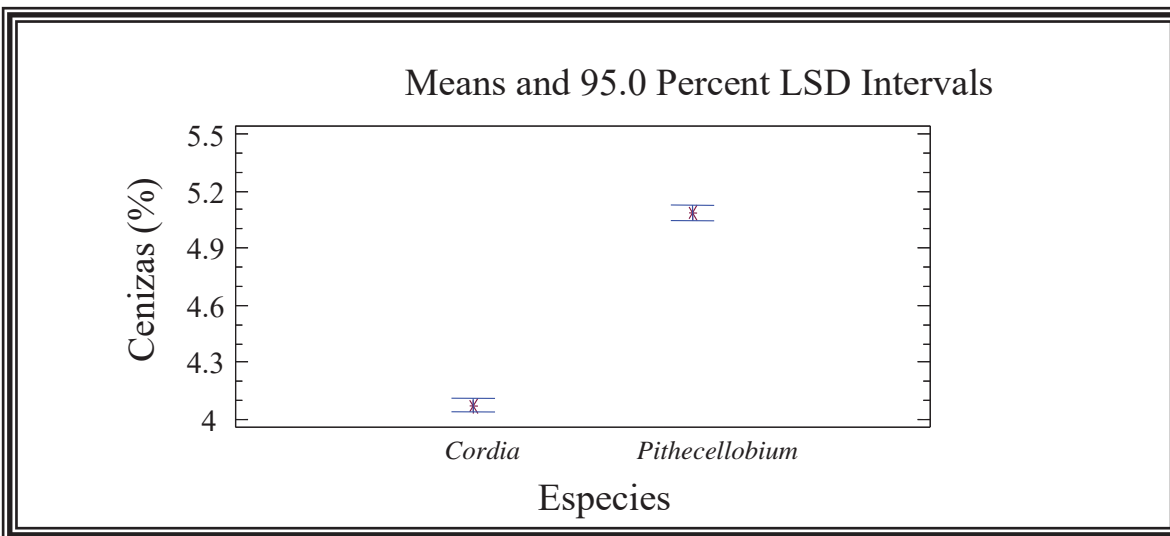


Figura 35. Efecto de las especies sobre cenizas

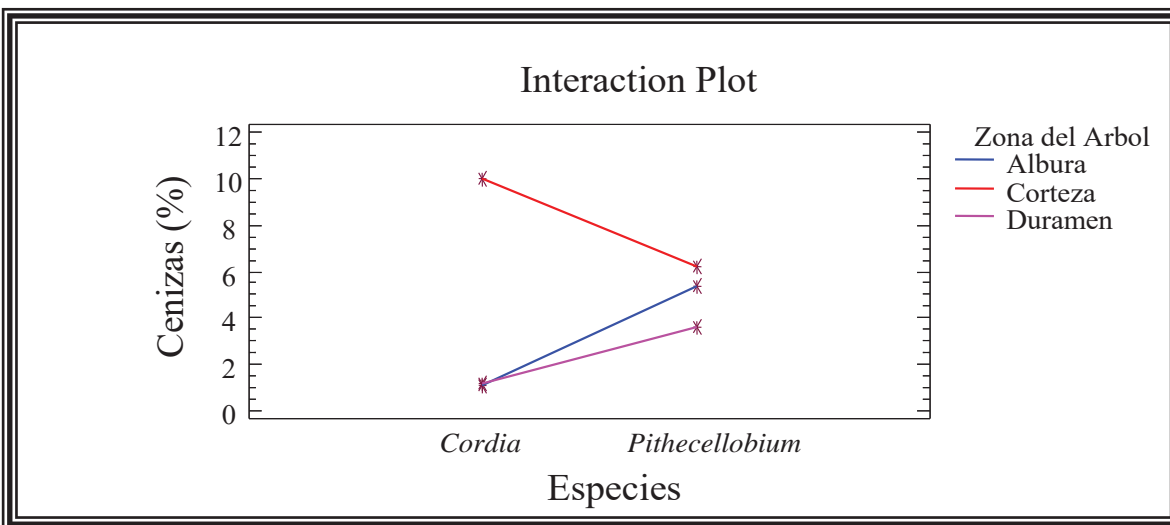


Figura 36. Interacción de las zonas sobre cenizas

6.1.3 Sustancias extraíbles

Los valores obtenidos de las extracciones en cada zona de las dos especies son presentados en el cuadro 4 y la figura 37, para los extraíbles totales son presentados en la figura 38.

	Especies	Ciclohexano (%)	Acetona (%)	Metanol (%)	Agua caliente (%)	Extraíbles (totales %)
Corteza	<i>C. elaeagnoides</i>	0.59	2.25	13.87	8.9	25.61
	<i>P. acatlense</i>	2.71	10.18	16.13	8.85	37.9
Albura	<i>C. elaeagnoides</i>	0.3	2.35	2.7	2.94	8.29
	<i>P. acatlense</i>	0.56	4.31	4.64	5.46	14.97
Duramen	<i>C. elaeagnoides</i>	2.68	5.01	1.06	1.18	9.93
	<i>P. acatlense</i>	0.42	12.63	6.5	2.5	22.05

Cuadro 4. Por ciento de la cantidad de sustancias extraíbles presentes en las especies

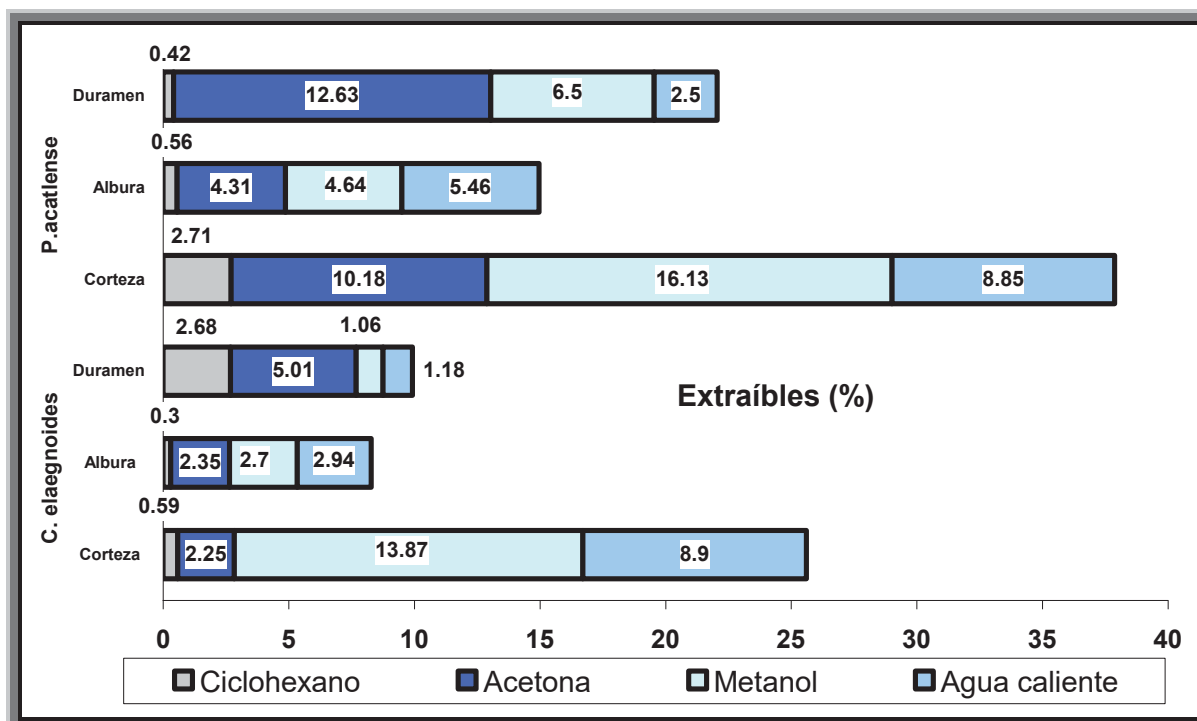


Figura 37 Sustancias extraíbles presentes en las zonas de cada especie.

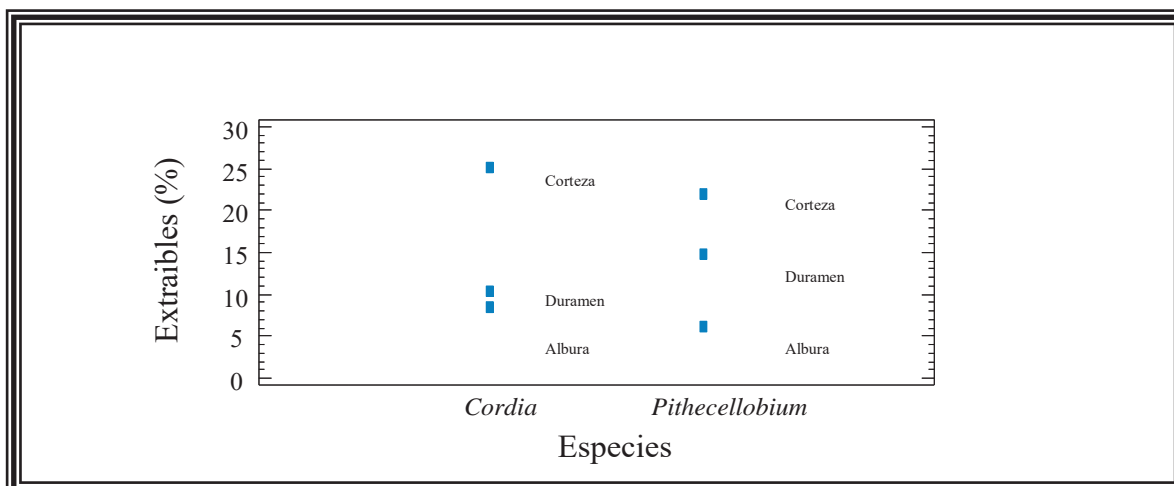


Figura 38 Porcentaje de sustancias extraíbles totales en las especies

Las cantidades de extraíbles presentes en las especies mostró mediante el análisis de varianza (cuadro 5) que el nivel de significancia calculado (p -Value) los dos factores (Especie y Zona) y la interacción (AB) es menor a 0.05, por lo que la hipótesis respectiva es rechazada, es decir la interacción y los factores (Especie y Zona), si tienen efecto significativo en la variable de respuesta, contenido de extraíbles. En las figuras 39 y 40 se observa los resultados de LSD y las interacciones de las zonas de las especies sobre los extraíbles.

Analysis of Variance for Extraíbles - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Especies	321.782	1	321.782	1345.24	0.0000
B:Zona del arbol	891.766	2	445.883	1864.06	0.0000
INTERACTIONS					
AB	20.1442	2	10.0721	42.11	0.0003
RESIDUAL	1.4352	6	0.2392		
TOTAL (CORRECTED)	1235.13	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Cuadro 5. Anova de las especies sobre la variable extraíbles

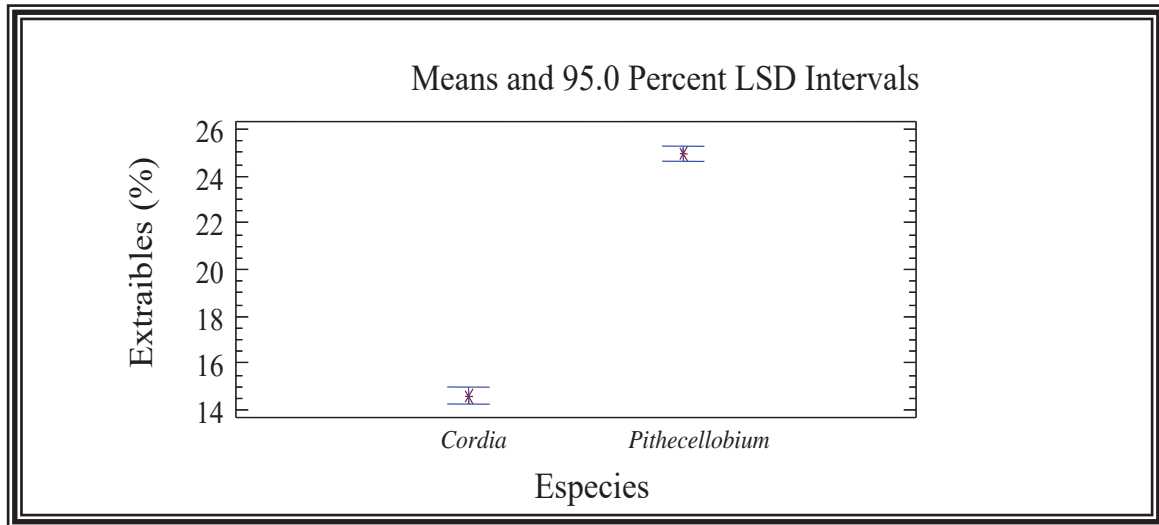


Figura 39. Efecto de las especies sobre los extraíbles

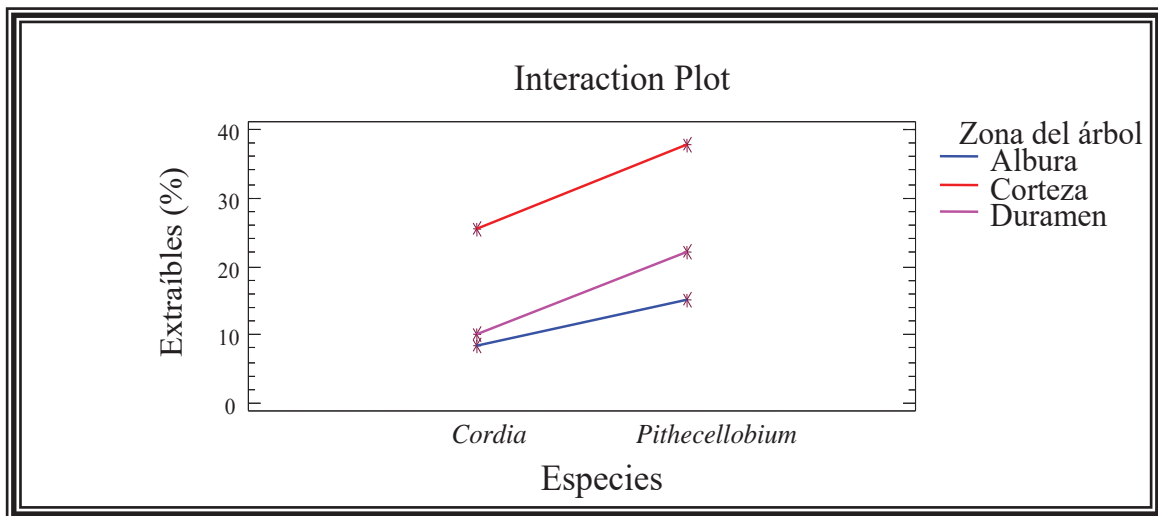


Figura 40. Interacción de las zonas sobre los extraíbles

6.1.4 Lignina

Los valores de la lignina presente en cada zona de las dos especies es graficada en la figura 41. La lignina presente en las especies mostró mediante el análisis de varianza (Anova) (cuadro 6) que el nivel de significancia calculado (p -Value) los dos factores (Especie y Zona) y la interacción (AB) es menor a 0.05, por lo que la hipótesis respectiva es rechazada, es decir la interacción y los factores (Especie y Zona), si tienen influencia en la variable de respuesta, (cuadro 6). Las figuras 41 y 42 muestran dichos resultados.

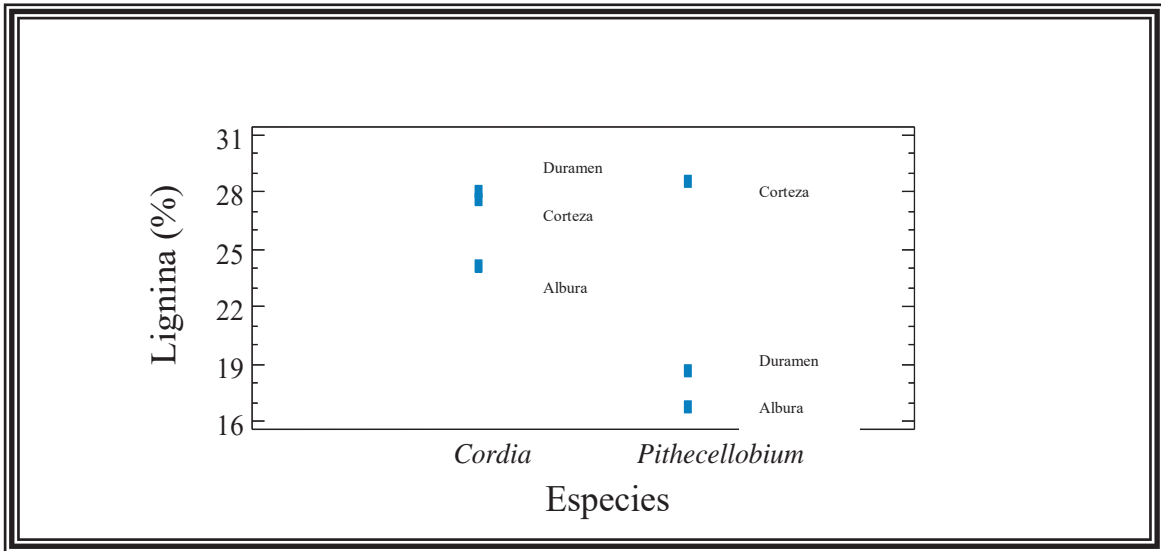


Figura 41 Porcentaje de lignina en las especies

Analysis of Variance for Lignina - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Especies	78.03	1	78.03	212.11	0.0000
B:Zona del arbol	102.646	2	51.3228	139.51	0.0000
INTERACTIONS					
AB	80.3452	2	40.1726	109.20	0.0000
RESIDUAL	2.2073	6	0.367883		
TOTAL (CORRECTED)	263.228	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Cuadro 6. Anova de las especies sobre la variable lignina

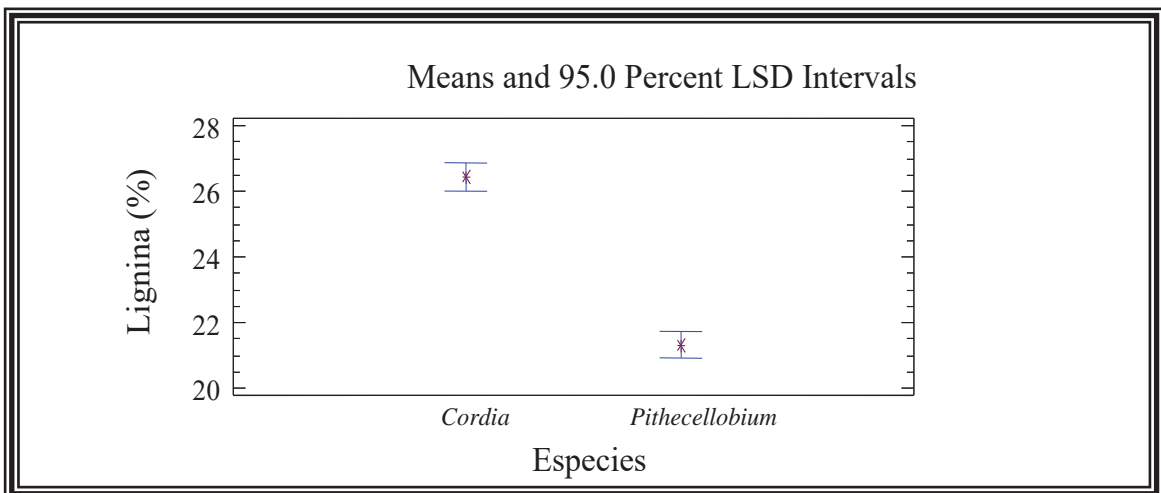


Figura 42. Efecto de las especies sobre la lignina

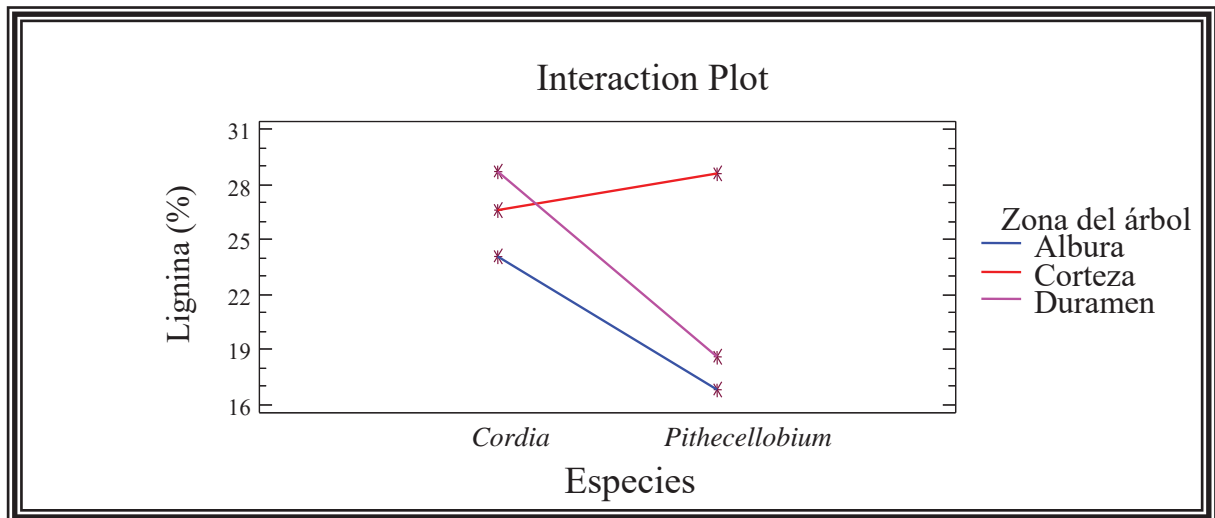


Figura 43. Interacción de las zonas sobre la lignina

6.1.5 Holocelulosa

Los porcentajes de holocelulosa presentes en cada zona de las especies con presentados en la figura 43. El Anova (cuadro 7) para el contenido de Holocelulosa presente en las especies mostró que el nivel de significancia calculado (p -Value) los dos factores (Especie y Zona) y la interacción (AB) es menor a 0.05, por lo que la hipótesis respectiva es rechazada, es decir los factores (Especie y Zona) y la interacción, si tienen influencia en la variable de respuesta. Los análisis de la comparación de las medias del efecto significativo y la interacción de los valores entre las zonas de cada especie son representados en las figuras 45 y 46.

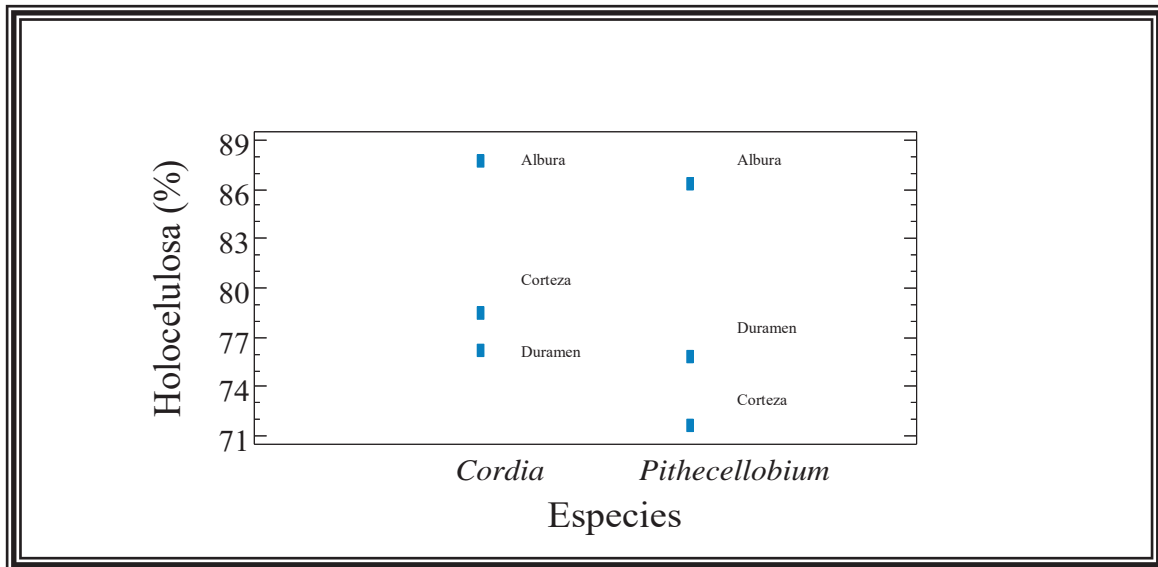


Figura 44 Porcentaje de lignina en las especies

Analysis of Variance for Holocelulosa - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Especies	23.7727	1	23.7727	106.42	0.0000
B:Zona del arbol	324.99	2	162.495	727.40	0.0000
INTERACTIONS					
AB	28.8012	2	14.4006	64.46	0.0001
RESIDUAL	1.34035	6	0.223392		
TOTAL (CORRECTED)	378.904	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Cuadro 7. Anova de las especies sobre la variable holocelulosa

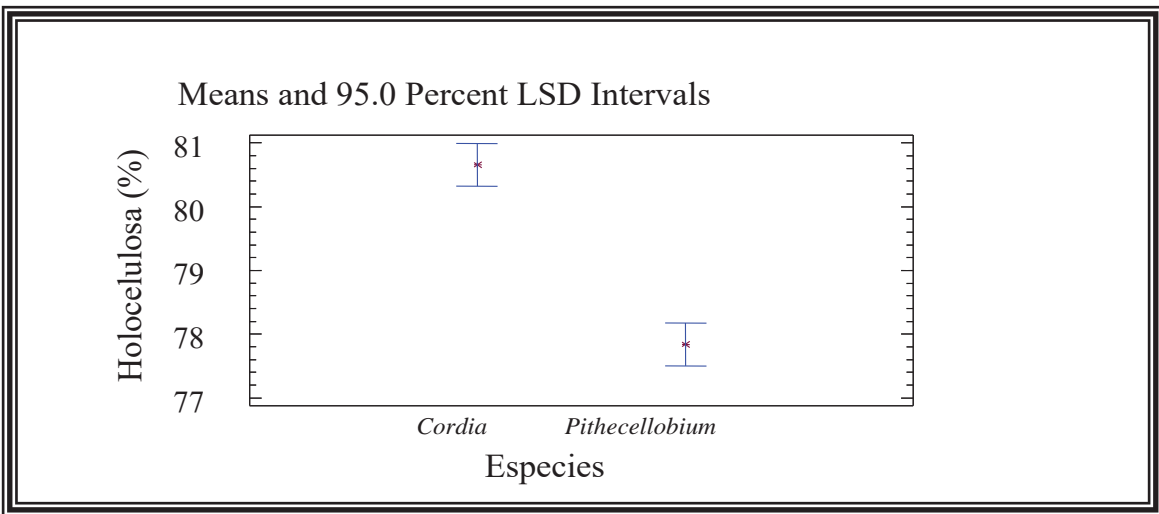


Figura 45. Efecto de las especies sobre la holocelulosa

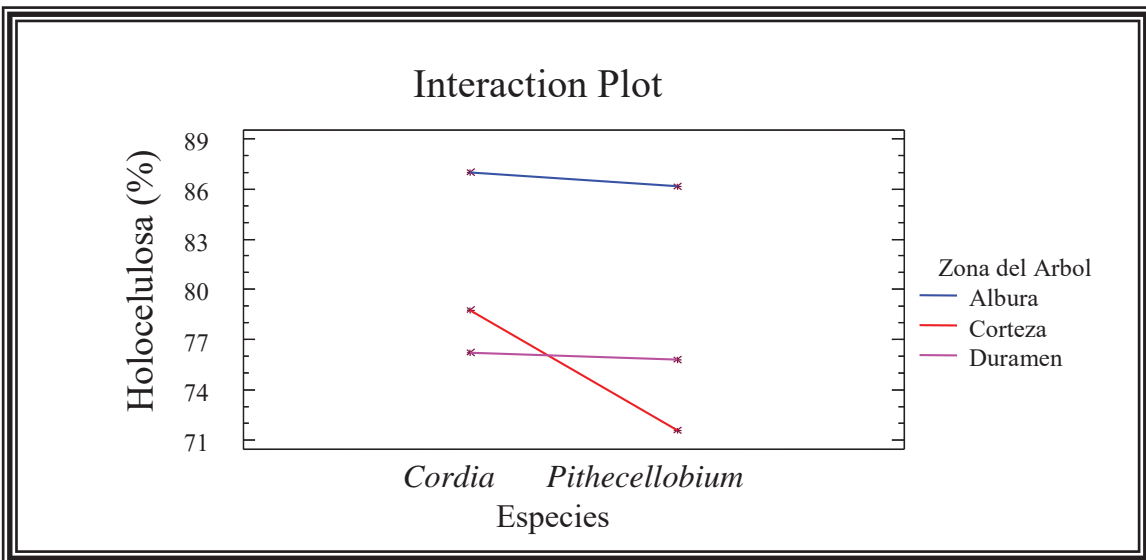


Figura 46 Interacción de las zonas sobre la holocelulosa

6.2 ACTIVIDAD ANTIFUNGICA DEL LOS EXTRACTOS DEL DURAMEN FRENTE AL HONGO DE PUDRICIÓN BLANCA *Trametes versicolor*.

6.2.1 Extracto ciclohexánico

Los resultados obtenidos sobre la inhibición del crecimiento del hongo para los extracto ciclohexánicos se muestran en la siguiente gráfica (figura 47).

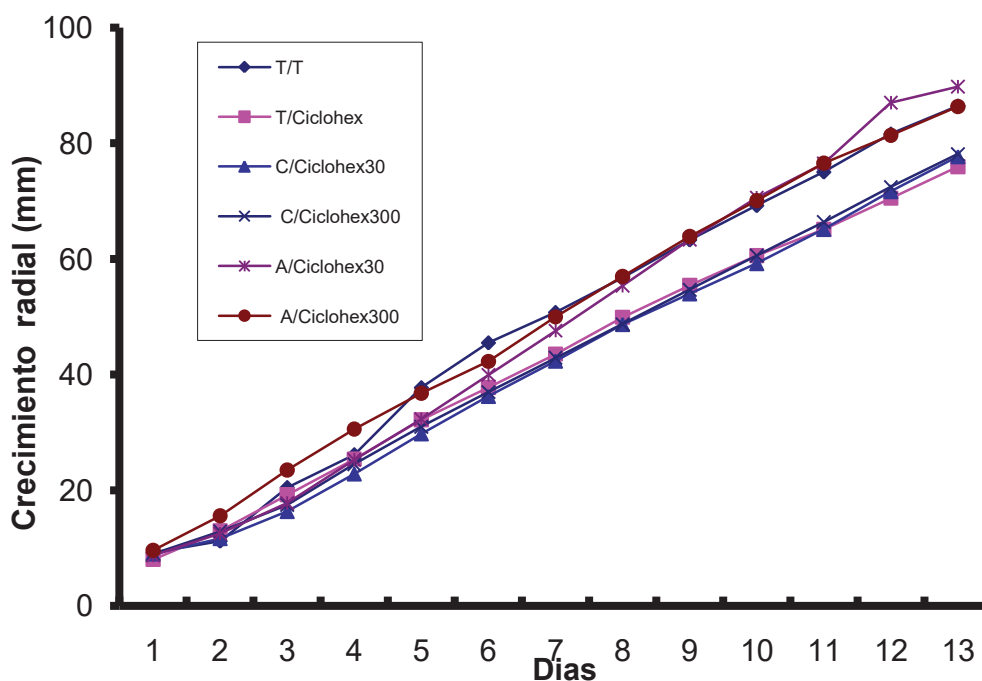


Figura 47. Dinámica de crecimiento del hongo *T. versicolor* con los extractos ciclohexánicos

Los valores obtenidos de la actividad antifúngica para los extractos ciclohexánicos fue la siguiente (cuadro 8).

EXPERIMENTO	% AFA
Testigo-ciclohexano	12.2
<i>C. elaeagnoides</i> Extracto ciclohexánico 30 mg/L	10.1
<i>C. elaeagnoides</i> Extracto ciclohexanico 300 mg/L	9.6
<i>P. acatlense</i> Extracto ciclohexanico 30 mg/L	-3.9
<i>P acatlense</i> Extracto ciclohexanico 300 mg/L	0.1

Cuadro 8. Actividad antifúngica para los extractos ciclohexánicos

En forma gráfica se presenta de la siguiente manera (figura 48).

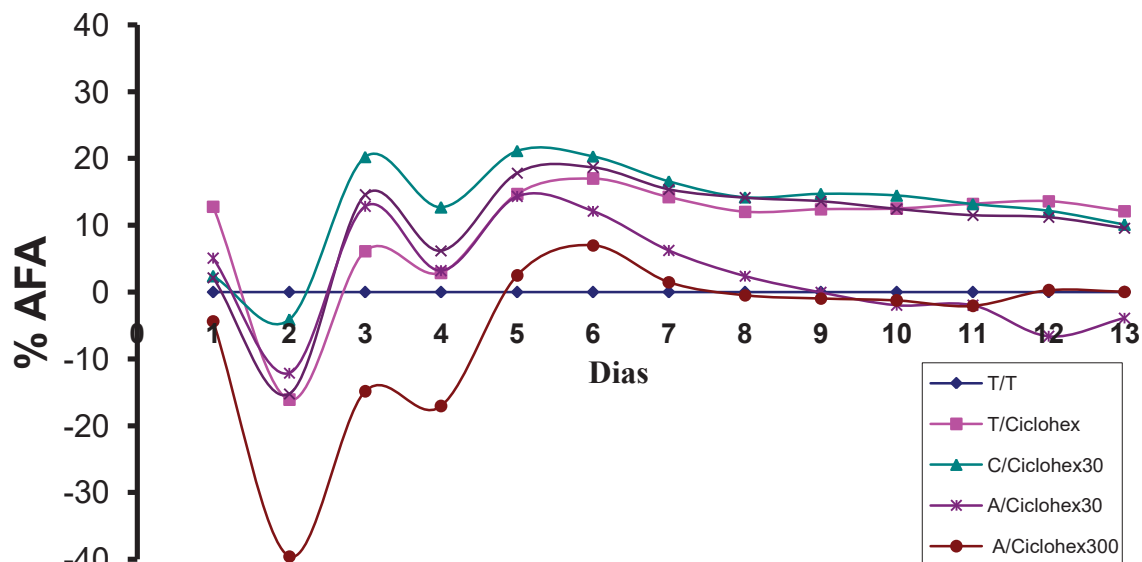


Figura 48 Cinética de la actividad antifúngica con el extracto ciclohexánico

De manera similar serán presentados los resultados de los extractos acetónicos, primeramente, la cinética de crecimiento (figura 49), seguida de los valores calculados de la actividad antifúngica (cuadro 9), finalmente la representación grafica de los valores de la actividad fúngica (figura 50).

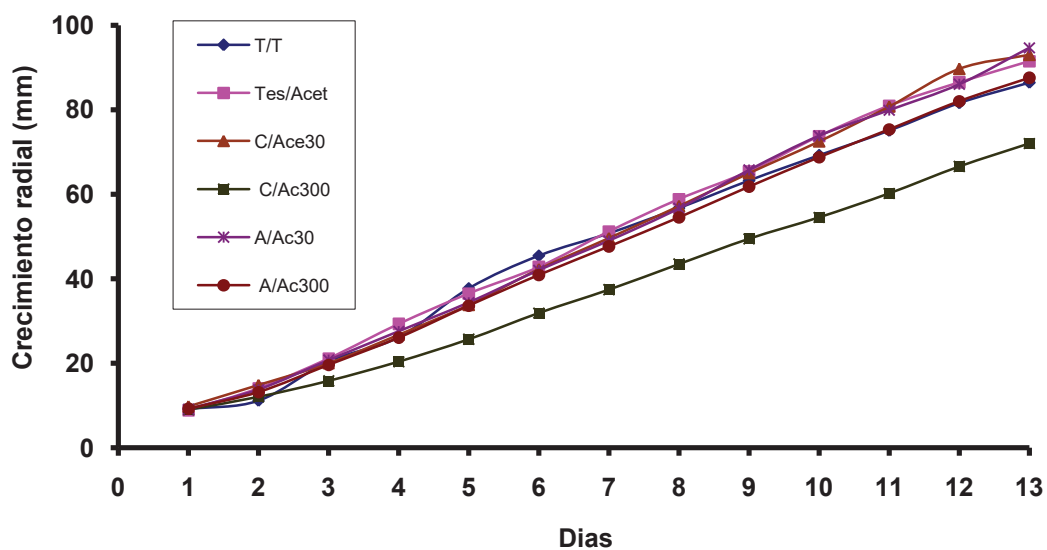


Figura 49. Dinámica de crecimiento del hongo *T. versicolor* con los extractos acetónicos

EXPERIMENTO	% AFA
Testigo acetónico	-5.9
<i>C. elaeagnoides</i> Extracto acetónico 30 mg/L	-7.6
<i>C. elaeagnoides</i> Extracto acetónico 300 mg/L	16.6
<i>P. acatlense</i> Extracto acetónico 30 mg/L	-9.6
<i>P. acatlense</i> Extracto acetónico 300 mg/L	-3.8

Cuadro 9. Actividad antifúngica para los extractos acetónicos

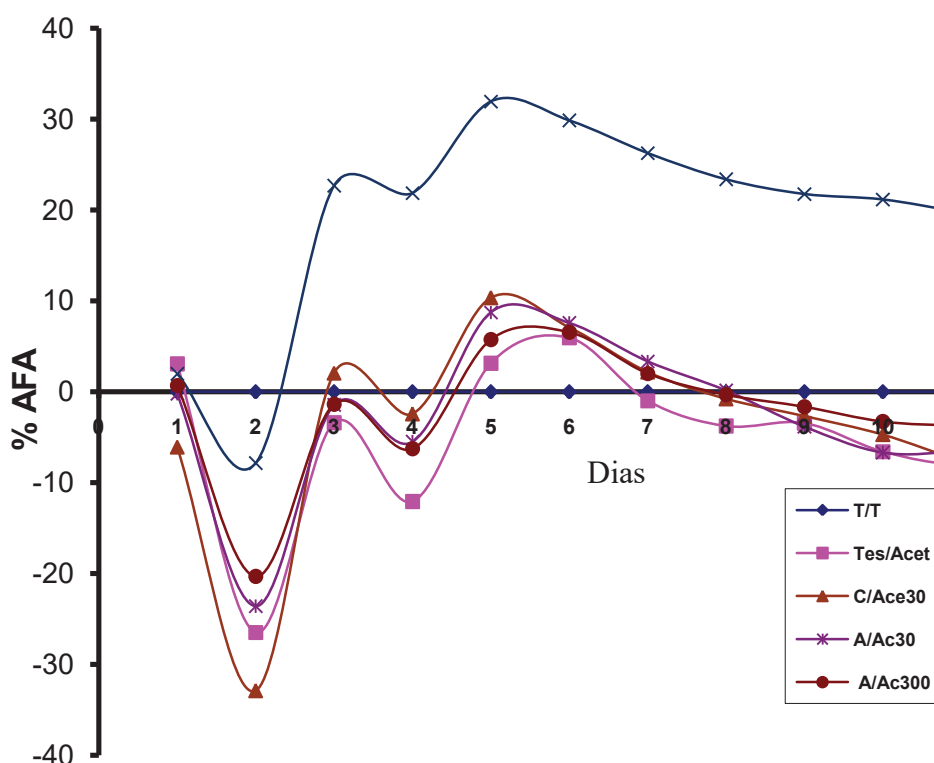


Figura 50. Cinética de la actividad antifúngica con el extracto acetónico

6.2.3 Extractos metanólicos

La figura 51 muestra el crecimiento del hongo en los extractos metabólicos, seguido por el cuadro 10 con los efectos del extracto metanólico y el testigo metanólico con respecto a la actividad antifúngica finalmente de manera gráfica este análisis se presenta en la figura 52.

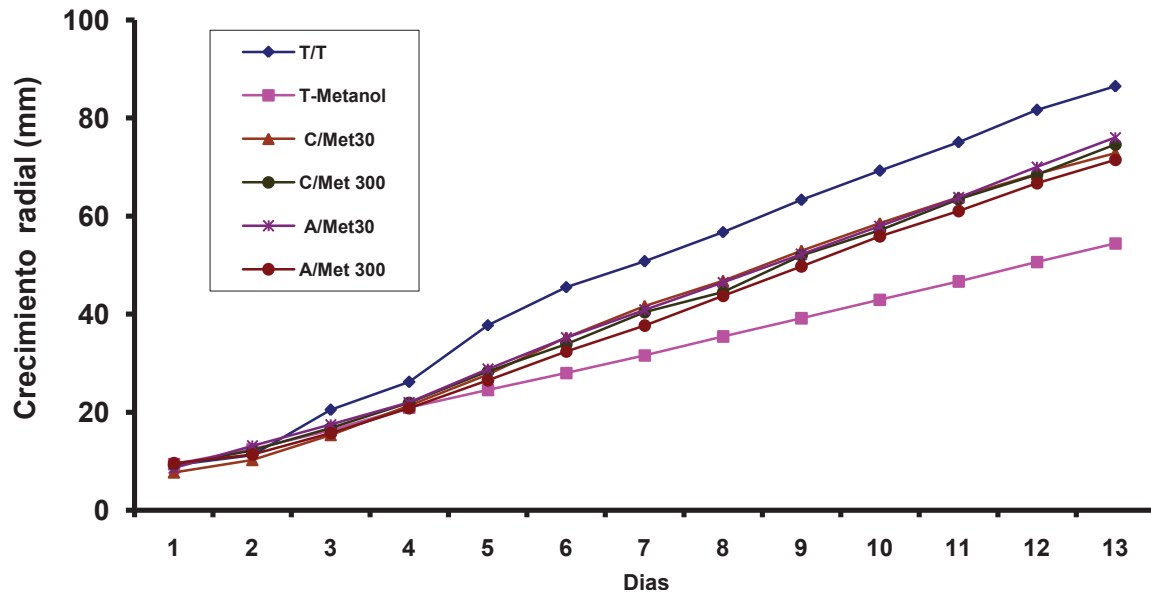


Figura 51. Dinámica de crecimiento del hongo *T. versicolor* con los extractos metanólicos

EXPERIMENTO	% AFA
Testigo metanólico	37.0
<i>C. elaeagnoides</i> Extracto metanólico 30 mg/L	15.8
<i>C. elaeagnoides</i> Extracto metabólico 300 mg/L	13.7
<i>P. acatlense</i> Extracto metabólico 30 mg/L	12.0
<i>P. acatlense</i> Extracto metanólico 300 mg/L	17.3

Cuadro 10. Actividad antifúngica para los extractos metanólicos

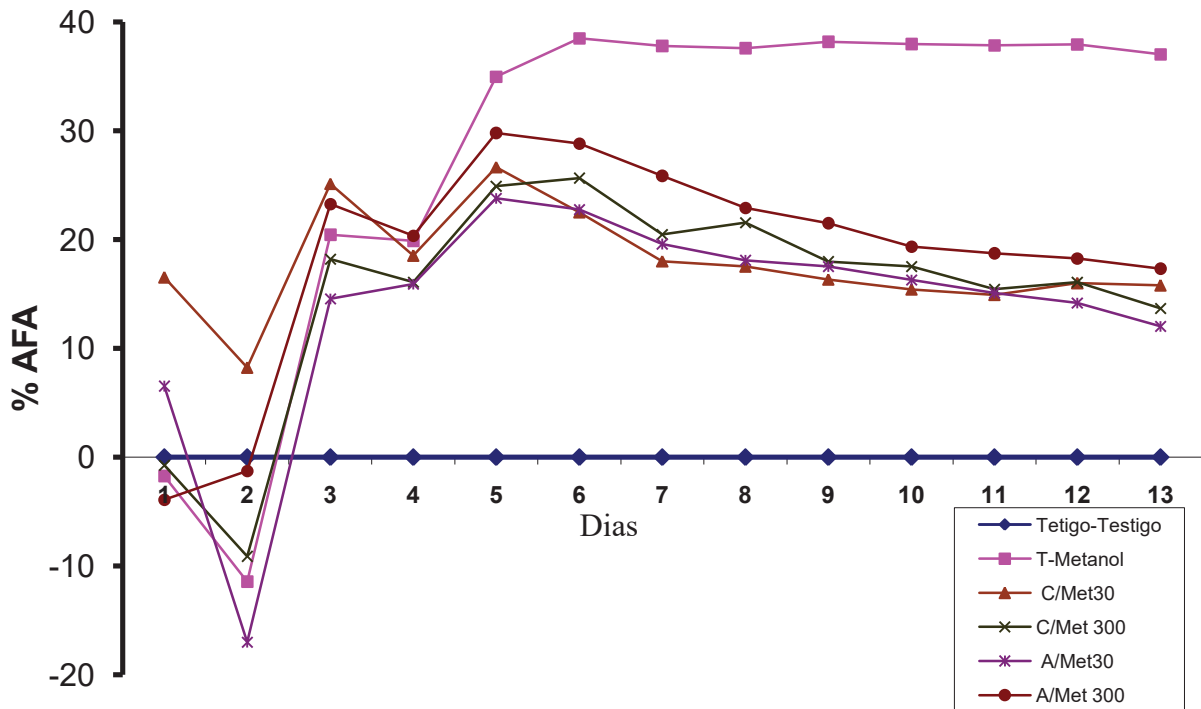


Figura 52 Cinética de la actividad antifúngica con el extracto metanólico

Finalmente en la figura 53 se presenta las dinámicas de crecimiento del hongo con todos los factores que se incluyeron en el experimento. Así mismo la figura 54 se muestra el efecto antifúngico donde solo se colocaron aquellas que tuvieron efecto.

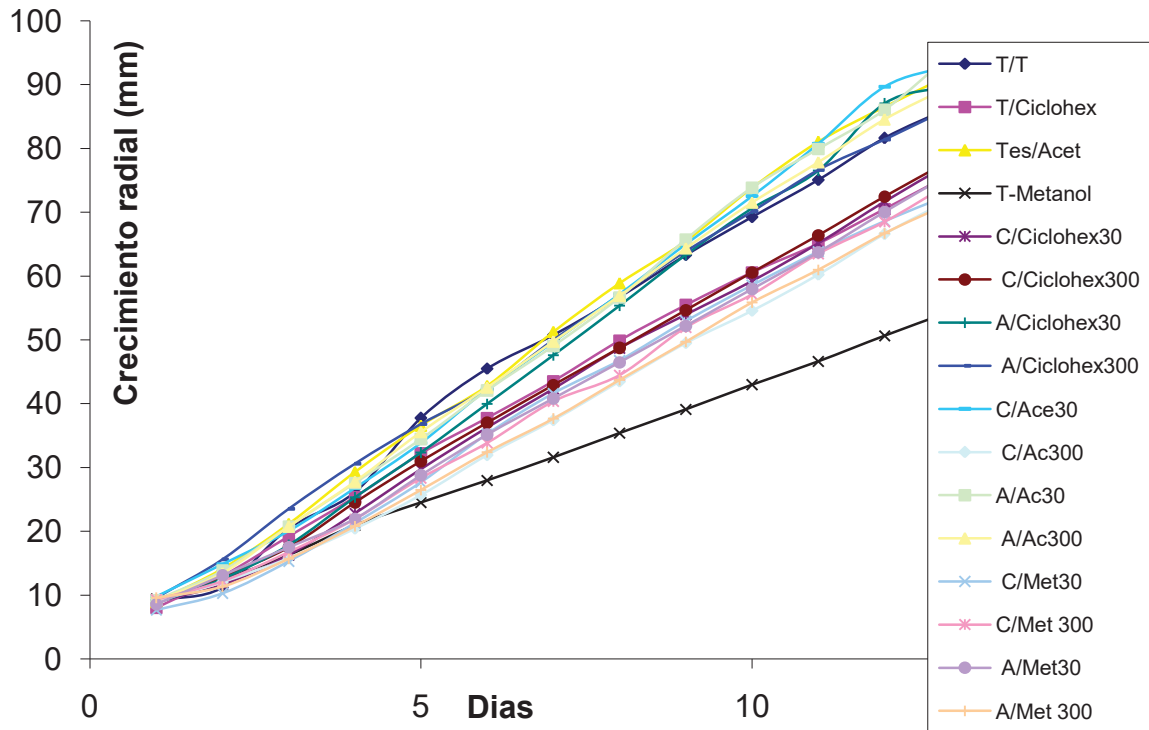


Figura 53. Dinámica de crecimiento del hongo *T. versicolor* con todas las condiciones

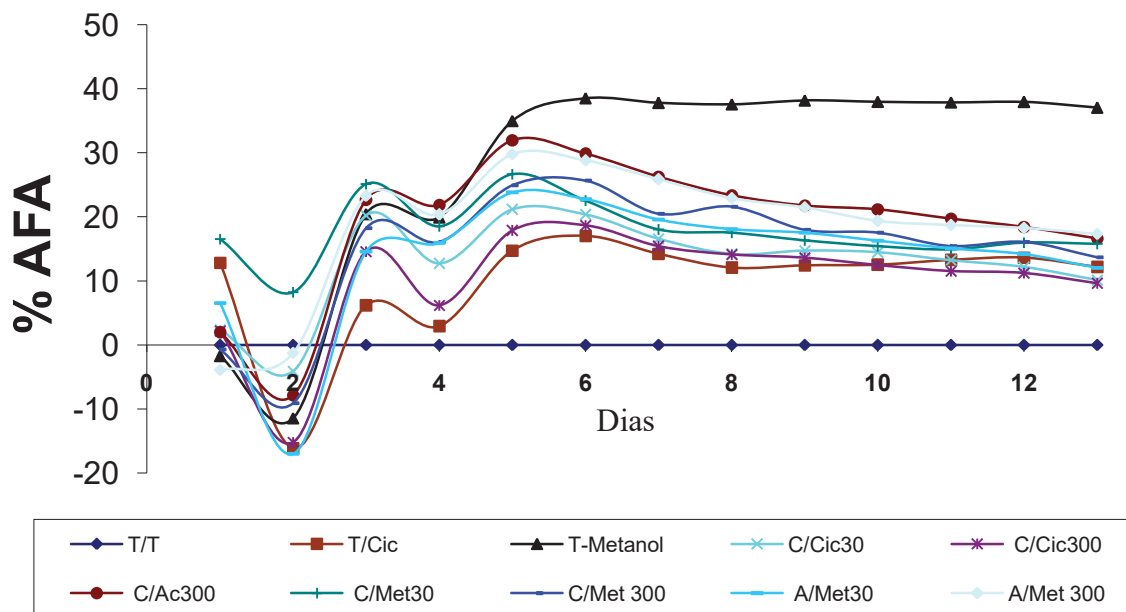


Figura 54. Cinética de crecimiento con los extractos que tuvieron efecto

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ESPECIES

Para el caso de este estudio se estableció contrastar los resultados obtenidos de las dos especies en tres zonas del árbol (corteza, albura y duramen) estableciendo si existían o no diferencias significativas, son poco explicativas las comparaciones con otras especies citadas en la literatura esto porque existen factores genéticos y ambientales que influyen en los porcentajes de la composición química, como por ejemplo la edad del árbol, clima, tipo de suelo donde se desarrolla la especie, época en la que se corta la especie (Hillis, 1971).

7.1.1 pH

En promedio, el pH resultó ser más ácido en la muestra de corteza de la especie *P. acatlense* (4.7), mientras que el valor menos ácido (6.2) correspondió al corteza de la especie *C. elaeagnoides* encontrando diferencias estadísticas para los valores del pH entre las dos especies, no así entre las zonas del árbol (cuadro 2, figura 31). El valor del pH está influenciado por la cantidad y tipo de sustancias extraíbles, esto queda demostrado, ya que las dos cortezas presenta la más alta cantidad de extraíbles en cada especie (cuadro 1), mientras en la corteza *P. acatlense* se localiza el valor más ácido caso contrario la corteza de *C. elaeagnoides*. Los grupos concretos que tienen influencia sobre el pH son los ácidos libres y grupos ácidos, entre otros (Fengel, Wegener 1983). El pH encontrado en las muestras de las especies, varía de 4.7 hasta 6.2. La madera de duramen fue más ácida que la de la albura lo que concuerda con lo citado por Fengel y Wegener (1983), donde se establece que en maderas tropicales el duramen es más ácido que la albura. Los resultados del pH dejan de manifiesto la variabilidad que se puede encontrar, entre las zonas del árbol y entre especies. No se dispuso de datos bibliográficos sobre estudios del pH para estas especies. Los valores de pH reportados en maderas tropicales mexicanas han sido: Rutiaga (2001) reportó para el duramen de las especies *S. macrophylla* 5.3, 5.5 en *M. zapota*, 5.6 para *C. odorata*, Mondragón (2002) comprobó un valor de 5.83 en el duramen de la especie *L. acapulcensis*, Téllez (2002) evidenció en el duramen de *Andira inermis* un valor de 5.8.

7.1.2 Cenizas

El por ciento de cenizas encontrado en las dos especies para cada zona del árbol indicó que si existían diferencias significativas entre las especies (cuadro3, figura33). La zonas de las especies con menor cantidad de cenizas fue la albura y el duramen de *C. elaeagnoides* con valores iguales de 1.1% (cuadro 1), mientras que en las cortezas de ambas especies se localizó la mayor cantidad de sustancias inorgánicas con 10.1 % para *C. elaeagnoides* y 6.2 % para *P acatlense*, es conocido que en la corteza existe mayor proporción de estas sustancias que en madera (Sjöström 1981, Fengel, Wegener 1983), lo que en general coincide con los resultados aquí encontrados.

Ubicando estos valores con especies tropicales mexicanas estudiadas tenemos que Huerta, (1996) encontró un valor de 2.07 % en el duramen de *P. dulce*, Rutiaga (2001) determino los valores de 0.36% en duramen de *S. macrophylla*, 0.66% en duramen de *C. odorata*, 0.78% en duramen de *M. zapota*, Téllez (2002) determinó para el duramen de la especie *Andira inermis* un valor de 0.61 %, 1.96 % encontrado en el duramen de la especie *L. acapulcensis* (Mondragón, 2002), Colín (2007) evaluó el contenido de cenizas en la corteza de dos especies con valores de 9.0 % para *E. compactum* y 9.1 % para *S. skinneri*,

7.1.3 Extraíbles

Tipo, ubicación y cantidad de los extraíbles estarán directamente relacionados con la especie y para el caso de su extracción de las muestras con los solventes utilizados para tales efectos (Hillis 1987). La extracción sucesiva de las harinas de las tres zonas de las dos especies con solventes de polaridad creciente (ciclohexano, acetona, metanol, agua caliente), se logra una disociación de los compuestos extraíbles de acuerdo a su polaridad. Se encontraron diferencias estadísticas significativas (cuadro 5, figura 36). La suma total (cuadro 4 figura 35) del contenido de extraíbles presentes en las especies arrojó que en la corteza de *P. acatlense* se encontró la mayor cantidad de extraíbles (38.5 %) mientras que la menor cantidad fue localizada en la albura del duramen de *C. elaeagnoides* (8.29 %). En ambas especies los contenidos de extraíbles fue mayor en el duramen que en la albura (cuadro 5), lo que concuerda con Hillis (1987) donde ubica que será típico el encontrar mayor cantidad de extraíbles en el duramen que en la albura.

Extraíbles con ciclohexano

Compuestos como: aceites, grasas, ceras y resinas, ácidos grasos, ácidos resínicos alcoholes y esteroides, son separados con solventes de baja polaridad como lo es el ciclohexano (citado Ramos 2003)

De las especies estudiadas en corteza de *P. acinchete* (2.71%) y el duramen de *C. elaeagnoides* (2.68%) se localizaron la mayor cantidad de extraíbles.

Extraíbles con acetona

Es un solvente orgánico polar muy utilizado en varias investigaciones para extracciones de madera, esto por su fácil extracción de compuestos fenólicos, para el presente trabajo se obtuvo la más alta cantidad en el duramen de *P. acatlense* 12.6% mientras que para la especie *C. elaeagnoides* fue de 5.01% en la albura.

Extraíbles con metanol

En orden creciente de polaridad tenemos los extraídos con metanol, la mayor cantidad de extraíbles obtenida para ambas especies estuvo presente en las cortezas ya que en la especie *P. acatlense* fue de 16.1% y para *C. elaeagnoides* 13.87%.

Extraíbles con agua caliente

Se encuentran presentes azúcares en su mayoría glucosa, fructuosa y sucrosa, también se incluyen sustancias de mayor polaridad, la formación del duramen está combinada con una pronunciada disminución de los azúcares solubles (Pobrete *et al* 1991). La presencia de extraíbles solubles en las especies fue mayor en la cortezas y fue disminuyendo hasta el duramen *P. acatlense* 8.85 %, 5.46% y 2.5 %, para la especie *C. elaeagnoides* los resultados fueron de 8.9%, 2.94% y 1.18% (cuadro 4, figura 35).

A manera de ubicar los resultados obtenidos del por ciento de extraíbles en estas dos especies se medirán con otras especies tropicales aún cuando los métodos de extracción, solventes y secuencia de extracción no sean los mismos, la toma de la muestras y edad de los árboles, se piensa conveniente citar algunos datos reportados (cuadro 11).

Especie	Autor	Polaridad de solvente →				
		no Polar				Polar
<i>A. inermes</i>	Téllez (2002)	0.97% ciclohexano	1.39% cloroformo	8.18% acetona	5.47% metanol	2.92% agua
<i>L. acapulcensis</i>	Mondragón (2002)	0.2% ciclohexano	0.18% cloroformo	6.77% acetona	4.69% metanol	4.4% agua
<i>S. macrophylla</i>	Rutiaga (2001)	0.6 % éter de petróleo	6.6% acetona	7.0% metanol	2.1% agua caliente	
<i>M. zapota</i>	Rutiaga (2001)	0.1 éter de petróleo	6.8% acetona	9.2% metanol	2.1% agua caliente	
<i>C. odorata</i>	Rutiaga (2001)	3.9 éter de petróleo	1.8% acetona	1.2% metanol	1.5% agua caliente	
<i>E. cyclocarpum</i>	Ramos (2003)	4.7% hexano	3.1% cloroformo	9.9% acetona	10.5% EtOH-agua	

Cuadro 11. Porcentaje de extraíbles en maderas tropicales por diferentes solventes

7.1.4 Lignina

El contenido de lignina de las muestras son menores en la albura de ambas especies (*P. acatlense* 16.8 %, *C. elaeagnoides* 24.1%) que en el duramen (*P. acatlense* 18.6 %, *C. elaeagnoides* 28.7%). El análisis estadístico estableció que si existían diferencias significativas entre las especies (cuadro 6, figura 38). Los valores obtenidos de las cortezas fue cercano entre ellas (*P. acatlense* 27.6% y *C. elaeagnoides* 28.6%), Sjöström (1981), Fengel y Wegener (1983) citan que es difícil determinar la cantidad de lignina en cortezas, en base a la dificultad de separar de ellas los ácidos fenólicos, aunque a través de los métodos empleados estos valores sean repetitivos y puedan generen un valor indicativo de la cantidad de lignina presente en las cortezas. Como referencia se tienen los siguientes datos: *P dulce* 32.23% (Huerta, 1996), *Dalbergia granadillo* 25.7% (Rutiaga, 1991), *P ebano* 33.4% (Zizumbo, 1998) y *L. acapulcensis* 19.1% (Mondragón, 2002), *A. inermes* 34.3% (Téllez, 2002), *S. macrophylla* 31.1 %, 34.4% *C. odorata*, 30.7% *M. zapota* (Rutiaga, 2001).

7.1.5 Holocelulosa

Las cantidades presentes de holocelulosa (cuadro 1) en cada zona de las especies estudiadas fueron mayores en las alburas de las dos especies (*P. acatlense* 86.3 % y *C. elaeagnoides* 87.7 %). Mediante el análisis estadístico se demostró que si existían diferencias significativas en cuanto al contenido de holocelulosa entre las especies (cuadro 7, figura 40). Es conocido que el contenido de polisacáridos en la corteza es bajo en relación a la madera (Fengel, Wegener 1983). Aunque en este trabajo las especies reportaron valores invertidos ya que el contenido de holocelulosa es ligeramente superior en corteza que en duramen (78.5% a 76.2%) para la especie de *C. elaeagnoides*, caso invertido para la especie *P. acatlense* donde el porcentaje fue mayor en duramen que en corteza (75.8% por 71.6%).

Algunos trabajos en maderas tropicales, han reportado bajo diferentes métodos de evaluación los siguientes resultados: *P. dulce* 86.26% (Huerta, 1996), *P. ebano* 83.49% (Zizumbo, 1998), *L. acapulcensis* 80.1% (Mondragón, 2002), *A. inermes* 88.4% (Téllez, 2002), *Dalbergia granadillo* 53.26% (Rutiaga, 1991), *S. macrophylla* 58.0 % (Rutiaga, 2001), 57.6 % *C. odorata* (Rutiaga, 2001), 55.4% *M. zapota* (Rutiaga, 2001).

7.2 ACTIVIDAD ANFUNGICA DE LOS EXTRACTOS DEL DURAMEN FRENTE AL HONGO DE PUDRICIÓN BLANCA *Trametes versicolor*.

7.2.1 Actividad antifúngica en los extractos ciclohexánicos

En la tabla (cuadro 8) y figura 43 se observa que en la muestra testigo-ciclohexano tiene el valor más alto de actividad antifúngica (12.2%) para este grupo de prueba. Dentro de los extractos las dos concentraciones de *C. elaeagnoides* presentaron actividad antifúngica similar (10.1% y 9.6%) para las dos concentraciones de la especie *P. acatlense* su actividad fue negativa, es decir que aumentó el crecimiento del hongo, comparándolo con el crecimiento del hongo testigo. Basado en el crecimiento que tuvo el hongo en el medio testigo-ciclohexano se puede deducir que probablemente el efecto ligero que tuvieron los extractos de la especie *C. elaeagnoides* fueron debido a residuos del solvente que se utilizó para disolver el extracto de manera homogénea en el medio de cultivo.

7.2.2 Actividad antifúngica en los extractos acetónicos

Para este grupo el experimento utilizando los extractos *C. elaeagnoides* en su concentración más alta (300 mg/L) evidenció la mayor actividad antifúngica (16.6%) (cuadro9, figura 45). Los demás experimentos determinaron un efecto negativo en la actividad antifúngica basado en el crecimiento testigo-testigo. Para la concentración más baja (30mg/L) de la especie *C. elaeagnoides*, se encontró una actividad negativa la cual se vio revertida cuando se incrementó la cantidad de extracto presente en el medio de manera que siendo el efecto del testigo acetónico negativo sugiere la base de la existencia de algún o algunos compuestos que de manera aislada pudieran por si solos detener el crecimiento de este tipo de hongo.

7.2.3 Actividad antifúngica en los extractos metanólicos

Fue el grupo donde la mayoría de los experimentos presentó actividad antifungica de manera descendente se tuvieron los siguientes resultados testigo-metanólico 37%. Para los extractos mezclados con el medio de cultivo se encontró que la concentración alta de *P. acatlense* obtuvo un valor de 17.3%.

Los valores obtenidos por el testigo- metanol se sugiere que el solvente tiene efecto en el crecimiento del hongo, por lo que es probable que el efecto que tienen los extractos sea probablemente al efecto del solvente residual que quedó en el medio de de cultivo mismo efecto que se vio extractos ciclohexánicos.

8. CONCLUSIONES

1. La corteza de la especie *Pithecellobium acatlense* reflejó ser la más ácida (4.7) de las zonas de las dos especies.
2. Las cortezas de las especies presentaron las concentraciones más altas de cenizas 10.1% para *Pithecellobium acatlense* y 6.2% para *Cordia elaeagnoides*.
3. El mayor contenido de sustancias extraíbles (37.9%) se localizaron en la corteza de la de la especie *Pithecellobium acatlense*.
4. El contenido más bajo de lignina estuvo presente en la albura de *Pithecellobium acatlense* (16.8 %).
5. La cantidad de holocelulosa fue mayor en la albura de las dos especies.
6. Los extractos ciclohexánicos del duramen de las especies no tuvieron efecto antifúngico sobre el crecimiento del hongo *Tremetes vesicolor*.
7. De los extractos acetónicos del duramen de las especies solo el de la concentración superior (300 mg/L) de *Cordia elaeagnoides* presentó efecto antifúngico sobre el crecimiento del hongo *Tremetes vesicolor*.
8. Los extractos metanólicos del duramen de las especies no tuvieron efecto antifúngico sobre el crecimiento del hongo *Tremetes vesicolor*.

9. BIBLIOGRAFIA

ASTM (2000) Annual book of ASTM standards. (Designation D 1104-56, Reapproved 1978). West Conshohocken, PA. EUA.

Albarrán Alvarado D (2004). Biopulpeo kraft de pino y encino con hongos de pudrición blanca. Tesis de Licenciatura Facultad de Tecnología de la Madera. Universidad michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Arrellano-García SH, Herrera-Bucio R, Rutiaga-Quiñones JG, López-Albarrán P, Cruz de León J (2007) Evaluación de los extractos del ébano (*Ebenopsis ebano*) con su capacidad antifúngica. VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Morelia, México. Memorias en CD pp 1-7.

Ávila-Calderón LEA, Palomares-Palomares G, Rutiaga-Quiñones JG (2004) Química de la madera de tres especies del estado de Michoacán. V Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Pachuca, México. Memorias pp 1-2.

Ávila-Calderón LEA, Rutiaga-Quiñones JG (2005) Química de la madera de tres especies de la selva mediana subcaducifolia. In: Carreón-Abud Y, Farías-Rodríguez R, González-Cortés JC, Martínez-Trujillo M, Vega-Fraga M (Compiladores) Memorias en CD de Congreso de Investigación Científica 2005. Morelia, México.

Ávila-Calderón LEA, Rutiaga-Quiñones JG (2006) Composición química de la madera y corteza de brasil (*Haematoxylum brasiletto* Karsten). VI Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Puebla, México. Memorias en CD, pp 1-4.

Ávila-Calderón LEA, Aguilar-Romero R, Rutiaga-Quiñones JG (2006) Caracterización química básica de la madera de cinco especies del estado de Michoacán. 2^{do} Congreso de Investigación Científica. Morelia, México. Resúmenes en CD, pp 1.

Colín-Urieta S, Ávila-Calderón LEA, Rutiaga-Quiñones JG (2007) Taninos en dos cortezas de arbustos. 4to Congreso Forestal de Cuba. La Habana, Cuba. Memorias en CD, pp 1-6.

Chang ST, Wang SY, Wu Chl, Chen PF, Kuo YH (2000) Comparison of the antifungal activity of cadinane skeletal sesquiterpenoids from *Taiwania* (*Taiwania cryptomerioides* Hayata). *Holzforschung* 54(3): 241-245.

Fengel D, Wegener G (1984) Wood-chemistry, ultrastructure, reaction. Walter de Gruyter. Ed. Berlín, New York.

García ES, Lomelí, RM, Ochoa RH (2004) Evaluación del efecto fungitóxico del tanino del mesocarpio del Cocos nucifera Linn. y de un complejo de cobre. XV foro Nacional de Ingeniería Química y IV Coloquio de investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz,

- Gary DM (1983) The hydroquinone terpenoids of *Cordia elaeagnoides* Chem. Soc., Perkin Trans. 1, 1983, 39.
- González Gómez JC, Madrigal Sánchez X, Ayala Burgos A, Juárez Caratachea A y Gutiérrez Vázquez E (2004) Especies arbóreas de uso múltiple para la ganadería en la región de Tierra Caliente del Estado de Michoacán, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) Morelia, Michoacán, México
- Grohs BM, Kunz B (1998) Studie zur Nutzung von Kernholzextrakten als potentielle biologische Holzschutzmittel. Holz Roh Werkst. 56: 217-220.
- Huerta Cisneros M (1996) Distribución, dendrología y estructura de cuatro leguminosas en Jalisco y su posible aprovechamiento. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México
- Hills WE (1971) Distribution, propeties and formation of Some Wood Extractives. Wood Science and Technology. 5:272-289
- Jones SB (1987) Sistematiza vegetal. McGraw-hill. México D.F. 536pp
- McVaugh R (1987) Flora Novogaliciana: Vol 5 Leguminosae. A describe account of the Vascular Plants of Western México. University of Michigan Press. 786 pp.
- Mondragón-Noguez VS, Rutiaga-Quiñones JG, López-Urquiza ME (2002) Análisis químico de la madera de tepehuaje. IV Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Guadalajara, México. Memorias pp 57-58
- Montgomery DC (1991) Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México.
- Niembro Rocas A (1990) Árboles y arbustos útiles de México. LIMUSA. México.
- Pedraza-Bucio FE, Rutiaga-Quiñones JG (2007) Cuantificación del extracto tánico de la madera de Palo de Brasil (*Haematoxylon brasiletto* Karst.). 4to Congreso Forestal de Cuba. La Habana, Cuba. Memorias en CD, pp 1-6. ISBN 978-959-282-048-7.
- Pennington D, Sarukhán J (2005) Árboles tropicales de México. Fondo de cultura económica. México
- Poblete H, Rodríguez S, Zárata M. (1991) Extraíbles de la madera sus características y efectos sobre la utilización de la materia prima. Publicación docente No. 34. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile.

Ramos Pantaleón D (2003) Aislamiento y Fraccionación de Sustancias Extraíbles de la Madera de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. ("Parota"). Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Raukel ROH, W KD (1951) Zur Kenntnis des thermoplastischen Verhaltens von Holz. Holz Roh Werkst. (9): 260-270.

Rutiaga-Quiñones JG(1991) Determinación de la composición química de la madera de dos especies tropicales. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México 102 pp

Rutiaga-Quiñones JG, E. Windeisen P, Shumacher (1995) Antifungal Activity of heartwood Extracts from *Dalbergia granadillo* and *Enterolobium cyclocarpum*. Holz als Roh und Werkstoff. 53:308p

Rutiaga-Quiñones JG, Windeisen E, Strobel C (1998a) Extraktstoffgehalt von *Swietenia macrophylla* King. Holz Roh Werkst. 56: 228.

Rutiaga-Quiñones JG, Windeisen E, Strobel C (1998b) Polysaccharide von *Swietenia macrophylla* King. Holz Roh Werkst. 56: 234.

Rutiaga-Quiñones JG (2001) Chemische und biologische Untersuchungen zum Verhalten dauerhafter Holzarten und ihrer Extrakte gegenüber holzabbauenden Pilzen. Buchverlag Gräffelfing. München.

Rutiaga-Quiñones JG, Ramos-Pantaleón D, Ochoa-Ruiz HG (2003) Sustancias extraíbles de la madera de *Enterolobium cyclocarpum*. 1er Taller de Tecnología de la Madera y Productos Forestales. La Habana, Cuba. Memorias pp 35-36.

Rutiaga Quiñones JG, Windeisen E (2007) Efecto fungistático de los extractivos del duramen de dos maderas tropicales contra cuatro hongos que habitan la madera. Ciencia y Tecnología de la Madera. Época 2. 11: 2-10.

Téllez-Sánchez C, Rutiaga-Quiñones JG, López-Urquiza ME (2002) Composición química de la madera de quiringuca. IV Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Guadalajara, México. Memorias pp 7-8.

Sandermann W, Rthkamm M (1959) Ubre die Bedeutung der pH- werte von Handelshölzern un deren Bedeutung für die Praxis. Holz oh Werkst. (17): 433-440

Sjötrom E (1981) Word Chemistry. Fundamentals and Applications. Academia Press. New York. 223 p.

Tsoumis G (1991) Ciencia y tecnología de la madera. Trad por Lidia I. Guridi Gómez. FITECMA-UMSNH. Morelia, Mich. 187pp.

TAPPI Test Methods (2000) TAPPI Press. Atlanta.

Torres RS, Lomelí RM, Ochoa RH, Cerpa GM, López UL, García ES (2004) Actividad antifúngica de los extractos de la corteza de *Mimosa biuncifera* y *Acacia angustissima* hacia el hongo de pudrición *Trametes versicolor* Memorias del V Congreso Mexicano de tecnología de productos forestales.

Vila Marín I, Guerra Rivero C, Cuesta Mola I, Triguero IN (2007). Durabilidad natural en laboratorio de 6 especies maderables del macizo montañoso sagua-nipebaracoa al hongo *gloeophyllum striatum* (sw) causante de pudrición parda de la madera. Memorias del IV Congreso Forestal de Cuba.

Wessmann G, Villalvazo J, Meier D (1980) Química y Tecnología de sustancias extraíbles de la madera. Instituto de Madera, Celulosa y Papel. Guadalajara Jal. México.

Monografías electrónicas

Fungalgenomics, (2008)
www.fungalgenomics.ncsu.edu [consulta: Enero 2008]

The Missouri Botanical Garden (2008)
www.mobot.org [consulta: Enero 2008]

10. APÉNDICE

Sobre durabilidad de maderas y características de los hongos xilófagos

La composición química y la resistencia de las maderas están directamente relacionadas. La relación densidad-color del duramen indica que maderas ligeras y colores claros tienen una baja durabilidad natural, caso contrario sobre maderas duras y colores oscuros. Entre los hongos de pudrición blanca más representativos que atacan las maderas tropicales (latifoliadas) se tiene *Daedalia quercina*, *Stereum purpureum* y *Trametes versicolor* (Tsoumis, 1991).

Trametes versicolor es encontrado desde climas templados hasta los bosques subtropicales en todo el mundo donde, como un factor principal de descomposición de maderas duras. También es identificado como el agente causal de pudrición en las maderas de duramen, maderas suaves y en una variedad de árboles vivientes. Causa la deslignificación de los biopolímeros de la madera. Dentro de sus características *Trametes versicolor* produce un número de enzimas que están involucradas en la degradación de material lignocelulósico incluyendo: diecisiete isoformas de Lignina-Peroxidasa (LiP), cinco isoformas de Manganese-peroxidasa (MnP), Laccasa, Carboximetil celulasa, Avicelasea y Cellobiosa dehidrogenasea. Los mecanismos que regulan la funcionalidad de esta máquina lignolítica han sido estudiadas extensivamente. La laccasa producida por *Trametes versicolor* puede ser usada para eliminar compuestos tóxicos de una variedad de recalcitrantes xenobioticos incluyendo: tintas textiles e hidrocarburos poliaromaticos. Esta enzima también se puede aplicar para generar o degradar polímeros sintéticos. La industria de pulpa y papel utiliza sistemas de fermentación utilizando este hongo para el bioblanqueo de pulpa kraft y la eliminación de extractivos en maderas de coníferas. Sus colonias pueden sintetizar o degradar antibióticos, producir compuestos carotenoides. Además es un organismo utilizado como bioremedio en moléculas de alto peso molecular como el asfalto componente del petróleo (Fungalgenomics, 2008).

La enzima Laccasa, se caracteriza por su habilidad de catalizar la oxidación de diversos compuestos fenólicos incluyendo alcohol coniferílico, ácido vaillinico, ácido gálico y algunos compuestos no fenólicos como ácido ascórbico, así como la desmetoxilación de guaicil a estructuras orto-quinonas (Shimada, Higuchi, 1991 citado por Albarrán 2004).

Vila Marín *et al.* (2007) cita que los hongos de pudrición blanca para las maderas de latifoliadas, tienen preferencias por estas maderas debido al tipo de lignina presente. Varios estudios han demostrado que la lignina tipo siringil presente en las latifoliadas es más fácil de degradar enzimáticamente por los hongos de pudrición blanca, que la lignina guayacil presente en coníferas, degradada mas fácilmente por los hogos de pudrición parda.

La gran mayoría de sustancias de origen vegetal señaladas como antifungicas, parecen tener sustancias monoméricas, mismo efecto pueden tener este efecto los taninos elágicos, los taninos condensados e incluso las lignnas, o por interacción entre taninos elágicos y las ligninas. Así mismo estos tres tipos de polifenoles tienen capacidad de formar quelatos con los metales. Dicha capacidad se debe a que tienen una estructura de tipo catecol y forman un complejo coordinado con cationes de Cu, Zn, o Cr. Se han valorado efectos antifungales de extractos de maderas durables y de biocidas a partir de extractos y de sales de cobre. Mediante el tratamiento con soluciones de éstos sobre probetas de madera susceptibles. Por ejemplo, extractos de duramen de Robinea (*Robinia pseudoacacia* L.) dieron una resistencia igual a la que provee el pentaclorofenol. Estos extractos de esta madera, así como sustancias de *Maclura pomifera* Schneid e *Instia bijuga* mostraron ser muy resistentes a la fungistasis. El tipo de sustancias identificadas en las tres maderas son robinetina y dihidrobintina, penta y tetra-hidroxiestilbenos y taninos condensados (citado por García *et al.* 2004).