



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍA DE LA MADERA



“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES DE LATIFOLIADAS”

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero en Tecnología de la Madera

Presenta

Ramiro Morelos Molina

Director de tesis
Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones

Asesores:

M. C. Fabiola Eugenia Pedraza Bucio
Ing. Nicolás González Ortega

Morelia, Mich. Abril 2012

Morelia, Michoacán, México. Abril de 2012.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Coordinación de la Investigación Científica por el apoyo recibido durante la realización del presente trabajo.

Al Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones, Director de esta investigación, por su gran apoyo, confianza, atención, la predisposición y ayuda mostrada en todo momento.

A la M. en C. Fabiola Eugenia Pedraza Bucio, Asesor de este trabajo. Por su ayuda y experiencia, muchas gracias.

Al Ing. Nicolás González Ortega, los excelentes consejos fueron fundamentales, muchas gracias.

A todas aquellas personas que en algún momento estuvieron conmigo.

A toda mi familia, los que se fueron y los que están, ya que ellos son el pilar fundamental de mi existencia.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, por la donación del material de estudio.

El presente trabajo de tesis fue realizado en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y forma parte del proyecto de investigación “*Composición química de maderas tropicales mexicanas*”, aprobado por la Coordinación de la Investigación Científica (CIC) de la UMSNH al Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones.

ÍNDICE

“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES DE LATIFOLIADAS”

	Página
1- INTRODUCCIÓN	1
2- ANTECEDENTES	2
3- OBJETIVOS	3
4- GENERALIDADES DE LAS ESPECIES	4
4.1. <i>Lysiloma bahamensis</i> Benth.	
4.2. <i>Platymiscium yucatanum</i> Standl.	
5- METODOLOGÍA	6
5.1. Colecta y preparación del material de estudio	6
5.2. Análisis químico de las especies	6
5.2.1. Determinación del contenido de humedad	6
5.2.2. Determinación del contenido de cenizas y microanálisis	6
5.2.3. Determinación del pH	7
5.2.4. Obtención de extraíbles	7
5.2.5. Determinación de lignina	7
5.2.6. Determinación de holocelulosa	7
5.2.7. Determinación de hemicelulosas	7
5.2.8. Determinación de alfa-celulosa	7
5.3. Determinación de taninos	8
5.3.1. Extracto total	8
5.3.2. Número de Stiasny	8
5.3.3. Taninos hidrolizables	8
6- RESULTADOS	9
6.1. Determinación del contenido de cenizas y microanálisis	9
6.2. Determinación del pH	11
6.3. Obtención de extraíbles	11
6.4. Determinación de lignina	14
6.5. Determinación de holocelulosa	15
6.6. Determinación de hemicelulosas	16
6.7. Determinación de alfa-celulosa	17
6.8. Determinación de taninos	18
7- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	20
8- CONCLUSIONES	23
9- BIBLIOGRAFÍA	24
10-APÉNDICES	28

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Gráfico de medias para el por ciento de cenizas	9
Figura 2. Espectro de rayos-x para las cenizas de <i>L. bahamensis</i>	10
Figura 3. Espectro de rayos-x para las cenizas de <i>P. yucatanum</i>	10
Figura 4. Gráfico de medias para el pH	11
Figura 5. Comportamiento de la solubilidad a los diferentes disolventes durante la extracción sucesiva (%)	12
Figura 6. Gráfico de medias para la extracción con ciclohexano	12
Figura 7. Gráfico de medias para la extracción con acetona	13
Figura 8. Gráfico de medias para la extracción con metanol	13
Figura 9. Gráfico de medias para la extracción con agua	14
Figura 10. Gráfico de medias para la solubilidad total	14
Figura 11. Gráfico de medias para el contenido de lignina	15
Figura 12. Gráfico de medias para el contenido de holocelulosa	16
Figura 13. Gráfico de medias para el contenido de hemicelulosas	17
Figura 14. Gráfico de medias para el contenido de alfa-celulosa	17
Figura 15. Gráfico de medias para el extracto total	18
Figura 16. Gráfico de medias para el número de Stiasny	19
Figura 17. Gráfico de medias para el contenido de taninos	19

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Contenido de material inorgánico (%)	9
Tabla 2. Elementos químicos detectados en las cenizas (%)	10
Tabla 3. Valor del pH	11
Tabla 4. Solubilidad de las maderas en diferentes solventes (%)	11
Tabla 5. Contenido de lignina (%)	15
Tabla 6. Contenido de holocelulosa (%)	15
Tabla 7. Contenido de hemicelulosas (%)	16
Tabla 8. Contenido de alfa-celulosa (%)	17
Tabla 9. Resultado de la determinación de taninos (%)	18

APÉNDICES

	Página
Apéndice 1. Anova para contenido de cenizas	28
Apéndice 2. Anova para pH	28
Apéndice 3. Anova para el contenido de extraíbles en ciclohexano	28
Apéndice 4. Anova para el contenido de extraíbles en acetona	28
Apéndice 5. Anova para el contenido de extraíbles en metanol	29
Apéndice 6. Anova para el contenido de extraíbles en agua caliente	29
Apéndice 7. Anova para el contenido total de extraíbles	29
Apéndice 8. Anova para el contenido de lignina	29
Apéndice 9. Anova para el contenido de holocelulosa	30
Apéndice 10. Anova para el contenido de hemicelulosas	30
Apéndice 11. Anova para el contenido de alfa-celulosa	30
Apéndice 12. Anova para el contenido de extracto total	30
Apéndice 13. Anova para el número de Stiasny	31
Apéndice 14. Anova para el contenido de taninos	31

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó la composición química básica del duramen de dos especies tropicales de la familia *Leguminosae*: *Lysiloma bahamensis* Benth. (Tzalam, zalam) y *Platymiscium yucatanum* Stand. (Granadillo). Para el análisis químico se determinó el contenido de cenizas, de sustancias extraíbles, lignina, holocelulosa, hemicelulosas, alfa-celulosa y se determinó el pH. Las cenizas se analizaron mediante energía dispersiva de rayos x. Para determinar la solubilidad total de las maderas se aplicó una extracción Soxhlet sucesiva con ciclohexano, acetona, metano y agua caliente. También se determinó el contenido de taninos. La composición química determinada coincide con datos reportados para otras especies tropicales y no se encontró diferencia estadística significativa entre las dos especies estudiadas, a excepción del contenido de taninos, encontrando mayor cantidad en *P. yucatanum*.

ABSTRACT

In the present work, we determined the chemical composition of heartwood two tropical species: *Lysiloma bahamensis* Benth. (Tzalam, zalam) y *Platymiscium yucatanum* Stand. (Granadillo). For chemical analysis was determined: ash content, extractives substances, lignin, holocellulose, hemicellulose, alpha-cellulose, and pH. The ashes were analyzed by energy dispersive x-ray. To determine the total solubility was applied successively Soxhlet extraction with cyclohexane, acetone, methanol and hot water, also determined the content of tannins. The chemical composition determined agreement with data published for other tropical species and not found significant statistical differences between the two species studied, except for the content of tannins found most in *P. yucatanum*.

1. INTRODUCCIÓN

Diversas comunidades vegetales conforman la vasta biodiversidad en México, desde los bosques de clima templado frío hasta las selvas tropicales (Rzedowski 1978). Los bosques de coníferas producen principalmente madera y en ocasiones también resina; los árboles tropicales proveen madera apreciada por su belleza. También algunas especies de árboles y arbustos, principalmente de la familia de las leguminosas, son potencialmente importantes en su follaje como fuente de alimento para el ganado (Benavides 2003, Pinto *et al.* 2003), además del rol que juegan en el ecosistema al retornar los nutrientes de la materia orgánica en descomposición y su posterior reciclaje vía biomasa vegetal (Jamaludheen, Mohan 1999), contribuyendo a la fertilidad y mejoramiento del suelo por la fijación de nitrógeno (Deans *et al.* 2003). En algunas zonas del país diversas especies de árboles han sido subutilizadas o eliminadas sin antes conocer su potencial (Soca *et al.* 2003), de modo que la utilización efectiva de miles de especies de árboles que se encuentran en selvas tropicales, dependerá del número de especies disponibles, así como de las propiedades intrínsecas para un uso determinado (Echenique, Plumtre 1994). Los estudios tecnológicos de la madera son importantes pues aportan datos técnicos que ayudarán para decidir sobre los usos de determinada especie a fin de aprovecharla ecológica y sustentablemente, a la vez de que pueden representar un recurso importante en las zonas donde se desarrollan (Barajas, León 1989). El propósito del presente trabajo es contribuir al conocimiento químico de especies tropicales mexicanas, y para ellos se han elegido para su estudio dos especies de la familia *Leguminosae*: *Lysiloma bahamensis* Benth. y *Platymiscium yucatanum* Standl.

2. ANTECEDENTES

Datos sobre la composición química básica de las especies a estudiar es escasa y se dispuso de poca información. Algunas referencias encontradas de estas especies y de algunas especies del mismo género se citan a continuación.

Lysiloma bahamensis Benth.

Mondragón *et al.* (2002) dan a conocer resultados del análisis químico del duramen de *Lysiloma acapulcensis*, especie cercana a *L. bahamensis*.

Mondragón *et al.* (2010), recientemente determinan las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *L. acapulcensis*.

Platymiscium yucatanum Standl.

Reyes *et al.* (1998) identificaron en el duramen de *P. yucatanum* flavonoides e isoflavonoides con propiedades antifúngicas.

Recientemente, Rutiaga *et al.* (2010) dan a conocer datos sobre la composición química de la madera de *P. lasiocarpum*, especie cercana a *P. yucatanum*.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Determinar la composición química básica, así como la cantidad de taninos en el duramen de *Lysiloma bahamensis* Benth. y de *Platymiscium yucatanum* Standl.

3.2 Objetivos Particulares

- Determinar la cantidad de componentes inorgánicos (cenizas)
- Realizar un microanálisis de las cenizas
- Medir el pH
- Determinar la cantidad de extraíbles obtenidos con solventes de polaridad creciente (ciclohexano, acetona, metanol y agua caliente)
- Determinar el contenido de lignina
- Determinar el contenido de holocelulosa
- Determinar el contenido de hemicelulosas
- Determinar el porcentaje de alfa celulosa
- Determinar el por ciento de taninos

4. GENERALIDADES DE LAS ESPECIES

4.1. *Lysiloma bahamensis* Benth.

Lysiloma bahamensis Benth. (Tzalam, zalam) pertenece a la Familia *Leguminosae* (*Mimosoidea*) y vegeta en los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo y Chiapas, formando parte de los bosques tropical perennifolio, tropical subcaducifolio y tropical caducifolio (Niembro 1990). También se distribuye naturalmente en el sur de Florida, Sur de América Central y en las Antillas. Su distribución altitudinal varía de 0 a 400 msnm, con precipitaciones anuales de 1100 a 2000 mm (Pennington, Sarukhán 2005). Es un Árbol con altura de 15 a 20 m y diámetro de 60 a 70 cm, con fuste recto que se ramifica desde el 50% de su altura; copa redondeada, ramas ascendentes con abundantes lenticelas. La corteza es color gris pardusco, su grosor varía de 7 a 15 mm. La madera color café oscuro rojizo es moderadamente pesada o pesada con una densidad básica de 0.59 g/cm³ (Pennington, Sarukhán 2005) a 0.63 g/cm³ y contracción total de 12.87% (Tamarit, Fuentes 2003). Su madera es fácil de aserrar y moderadamente difícil de secar (Salazar, Soihet 2001); usada para la fabricación de duela, parquet, chapas decorativas, muebles, mangos para herramienta, implementos agrícolas, gabinetes, construcciones navales, durmientes, canoas y ruedas de carretas. La corteza contiene taninos que son empleados para la curtiduría (Niembro 1990). Esta especie se caracteriza por su alta germinación y supervivencia, así como por su integración a sistemas silvopastoriles, repeliendo la acción de insectos-plaga, efecto que pudiera relacionarse con la composición química de su follaje (Valenciaga *et al.* 2008).

4.2. *Platymiscium yucatanum* Standl.

Platymiscium yucatanum Standl. (Granadillo) pertenece a la Familia *Leguminosae* (*Faboideae*); es una especie originaria de las zonas tropicales del país. Se le

encuentra en los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas y Oaxaca, formando parte del bosque tropical perennifolio (Niembro 1990), creciendo en compañía de majestuosos cedros, caobas y otras especies tropicales (Monreal s/a). Es un árbol de hasta 40 metros de altura, 90 cm de diámetro, follaje verde oscuro y denso, ramas grandes fuste recto cilíndrico (Pennington, Sarukhán 2005). Su principal producto, la madera, se utiliza para la fabricación de muebles finos, cubiertos, platos, artesanías, instrumentos musicales, mangos para herramientas e implementos agrícolas y se recomienda utilizarla para escaleras, puertas y ventanas, artículos para escritorio, marimbas, mangos para cuchillos y quillas de barcos (Niembro 1990). Su madera de color rojizo intenso, con contracción total de 12.83% y con densidad básica de 0.61g/cm^3 (Tamarit, Fuentes 2003) a 0.66g/cm^3 (Zavala, Vázquez 2001). Aunque no es tan cotizada en el mercado, es considerada como una de las más preciosas del mundo debido a sus cualidades excepcionales (Pennington, Sarukhán 2005). Por su dureza, gran consistencia y sonoridad, resulta excelente para la fabricación de instrumentos musicales como claves, castañuelas, violines y en especial marimbas (Monreal s/a). La madera de granadillo es también muy utilizada en la fabricación de muebles finos, ebanistería, cubiertos, platos y artesanías (Bárcenas 1995). En medicina, la corteza y la raíz se utilizan para tratar dolor de abdomen y mordeduras de serpiente (Monreal s/a). *P. yucatanum* es una especie endémica con gran valor comercial (Pozo, Calmé 2005) utilizada también en la elaboración de guitarras (De la Paz Pérez et al. 2002).

5. METODOLOGÍA

5.1. Colecta y preparación del material de estudio

El material de las especies de *Lysiloma bahamensis* Benth. y *Platymiscium yucatanum* Standl., fue donado por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, habiéndose recolectado en el estado de Tabasco. Las muestras de duramen obtenidas de una rodaja de 30cm de espesor extraída del fuste a 1.30m del suelo de cada árbol, se astillo y se dejó secar al aire libre, posteriormente se molió y se tamizó. La harina de la fracción 40 (420 μm), retenida en la malla 60, se utilizó en este estudio, siguiendo la norma T 257 om-85 (TAPPI 2000). Los análisis se realizaron por duplicado. Se calculó el valor promedio, la desviación estándar y se realizó una comparación de medias para determinar diferencias estadísticas significativas en las propiedades químicas de las dos maderas, a un nivel de confianza estadística de 95%, procesando los datos recabados en el programa Statgraphics Plus versión 4.

5.2. Análisis químico de las especies

5.2.1. Determinación del contenido de humedad

Antes de iniciar el análisis químico, se determinó el porcentaje de humedad del material de estudio, siguiendo la técnica de deshidratación a 103° C, de acuerdo a la norma T 264 om-97 (TAPPI –2000). Éste material utilizado para determinar la humedad no fue empleado para realizar los ensayos químicos.

5.2.2. Determinación del contenido de cenizas y microanálisis

El por ciento de materia inorgánica presente en la harina de las muestras, se determinó siguiendo la norma T 211 om-93 (TAPPI 2000). El análisis cualitativo de las cenizas obtenidas se realizó con un espectrómetro de Rayos X, acoplado a un microscopio Electrónico de Barrido marca Jeol modelo JSM – 6400, cuyas condiciones de operación fueron 20 kV y 8.5 segundos.

5.2.3. Determinación del pH

Se determinó el pH (potencial de hidrógeno) de cada especie mediante el método Sandermann y Rothkamm (1959), utilizando un potenciómetro marca HANNA, modelo pH 211.

5.2.4. Obtención de extraíbles

La cantidad de sustancias extraíbles se determinó aplicando una secuencia de extracción Soxhlet con solventes de polaridad creciente: ciclohexano, acetona, metanol, finalizando el ciclo de extracciones con agua caliente a reflujo. En cada caso el tiempo de extracción será de 6 horas. Los solventes se recuperaron en un rotavapor marca Heidolph aplicando vacío, para obtener así el extracto de cada secuencia. Finalmente se colocó el matraz con el extracto en un desecador hasta peso constante, para determinar los porcentajes de contenidos de extractos presentes en las muestras de las especies.

5.2.5. Determinación de lignina

Finalizada la secuencia de extracciones se obtuvo harina libre de extractos, la cual fue utilizada para la determinación del por ciento de lignina, de acuerdo con el método de Runkel y Wilke (1951).

5.2.6. Determinación de holocelulosa

El contenido de holocelulosa presente en las muestras de duramen en harina libre de extraíbles se determinó utilizando el método Wise (1946).

5.2.7. Determinación de hemicelulosas

Se calculó el por ciento de hemicelulosas por diferencia del contenido de holocelulosa y de alfa-celulosa.

5.2.8. Determinación de alfa-celulosa

El contenido de alfa celulosa se determinó siguiendo la técnica D 1103-60 (ASTM 1981).

5.3. Determinación de taninos

Para la extracción y evaluación de taninos (Yazaki, Hillis 1977; Waterman, Mole 1994) en las diferentes zonas de esta especie, se aplicó un diseño factorial 2^3 (Montgomery 1991), teniendo como factores y niveles los siguientes:

A = temperatura (80 °C, 87 °C)

B = tiempo (180 minutos, 120 minutos)

C = relación soluto/solvente (1/15, 1/12)

El nivel de confianza con el que se analizaron los datos fue de 95 % y los resultados se analizaron mediante el programa Statgraphics Plus versión 4. Terminada la extracción el extracto frío se filtró sobre papel filtro de porosidad media y el filtrado se aforó en un matraz volumétrico de 100mL.

5.3.1. Extracto total

50 mL del filtrado se depositaron en un crisol de porcelana y se sometió a calentamiento en estufa de secado a 103°C hasta sequedad. El residuo que quedo es el extracto total y se calculó por gravimetría.

5.3.2. Número de Stiasny

El volumen restante, 50mL, se hicieron reaccionar con 5mL de formaldehido en medio ácido (2.5mL de HCl) bajo reflujo durante 30 minutos. Ya fría la solución se filtró aplicando vacío y el filtrado se secó en estufa a 103°C hasta sequedad. El residuo que quedo son taninos condensados (No. de Stiasny) y se calculó por gravimetría.

5.3.3. Taninos hidrolizables

Para determinar la presencia de taninos hidrolizables se aplicó una prueba cualitativa: a 10mL del filtrado de la prueba de taninos condensados se adicionaron 1.0mL de solución de sulfato férrico al 1% y 0.05g de acetato de sodio. La aparición de un color azul violeta indica la presencia de estos taninos.

6. RESULTADOS

6.1. Determinación del contenido de cenizas y microanálisis

La humedad del material de estudio fue de 7.7% (± 0.05) para *L. bahamensis* y de 7.9% (± 0.03) para *P. yucatanum*. En la Tabla 1 aparecen los resultados de la cantidad de sustancias inorgánicas presentes en las maderas, no encontrando diferencia estadísticamente significativa ($p=0.2004$, ver Apéndices), como se aprecia en la comparación de medias (Fig. 1).

Tabla 1. Contenido de material inorgánico (%)

Madera	Cenizas
<i>L. bahamensis</i>	1.3 \pm 0.04
<i>P. yucatanum</i>	1.4 \pm 0.01

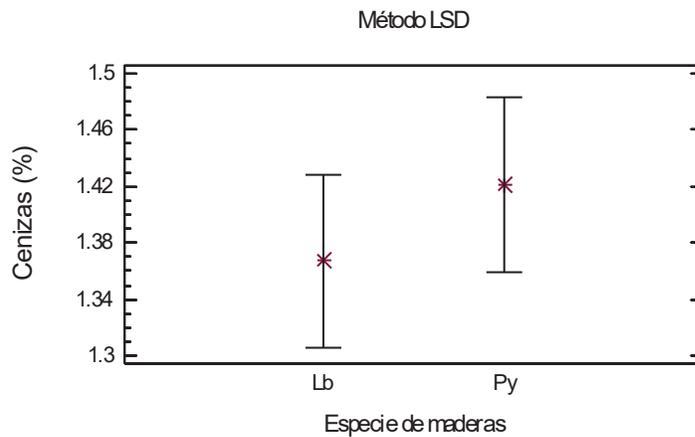


Figura 1. Gráfico de medias para el por ciento de cenizas

En la Tabla 2 se dan los elementos químicos detectados en las cenizas de las especies estudiadas y en las figuras 2 y 3 los respectivos espectros.

Tabla 2. Elementos químicos detectados en las cenizas (%)

Elementos	<i>L. bahamensis</i>	<i>P. yucatanum</i>
Sodio	4.9 ±0.32	nd
Magnesio	8.1 ±0.27	nd
Fósforo	12.9 ±0.39	nd
Azufre	1.3 ±0.32	1.0 ±0.04
Potasio	50.7 ±1.02	3.0 ±0.12
Calcio	22.0 ±1.32	95.9 ±1.44

nd = no detectado

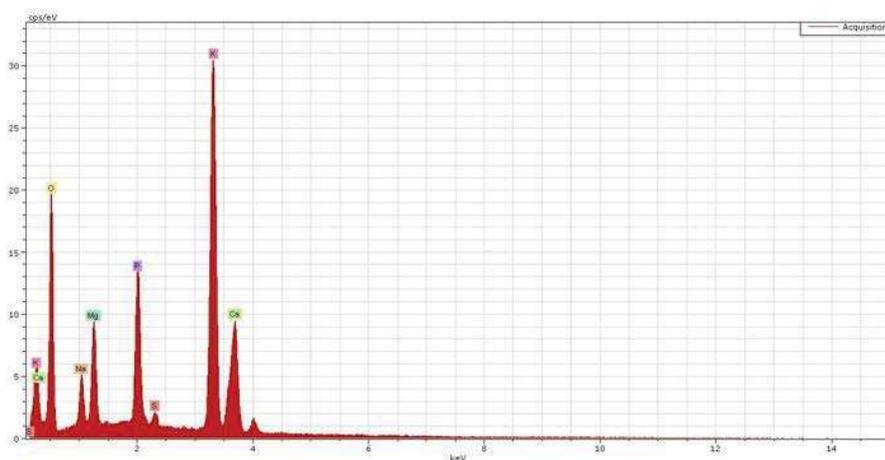


Figura 2. Espectro de rayos-x para las cenizas de *L. bahamensis*

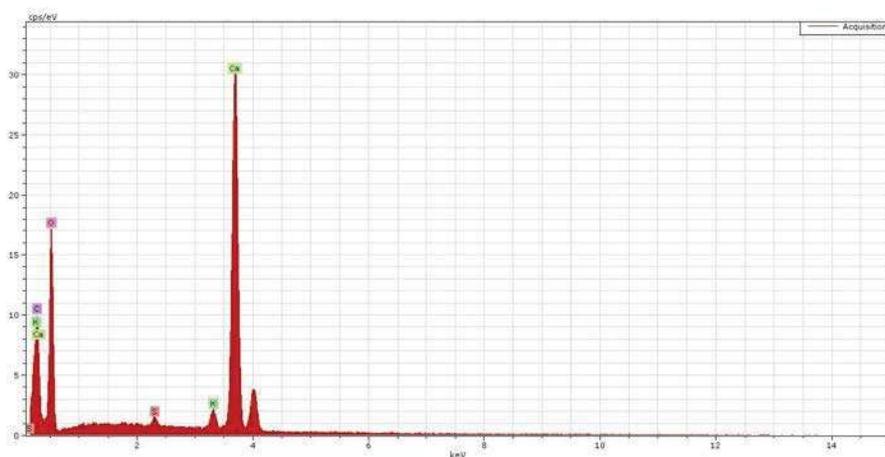


Figura 3. Espectro de rayos-x para las cenizas de *P. yucatanum*

6.2. Determinación del pH

El valor de pH de las maderas se reporta en la Tabla 3, valores sin diferencia estadística significativa (0.6985, Fig. 4; ver Apéndices).

Tabla 3. Valor del pH

Madera	pH
<i>L. bahamensis</i>	4.7±0.03
<i>P. yucatanum</i>	4.7±0.06

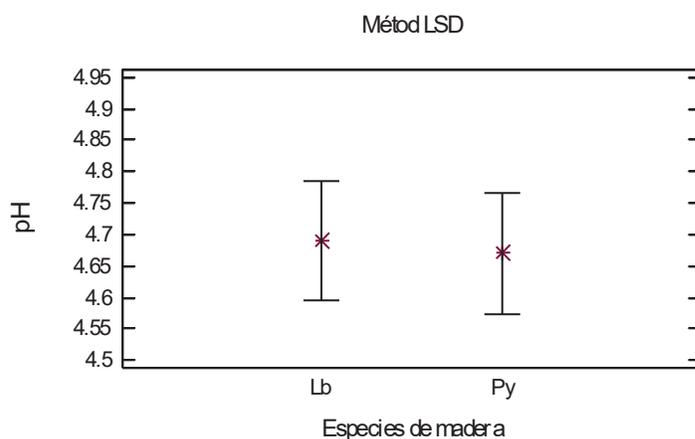


Figura 4. Gráfico de medias para el pH

6.3. Obtención de extraíbles

El resultado de la solubilidad de las maderas en los diferentes solventes utilizados en la extracción sucesiva aparece en la Tabla 4.

Tabla 4. Solubilidad de las maderas en diferentes solventes (%)

Madera	CH	ACE	MET	AC	Total
<i>L. bahamensis</i>	1.5 ±0.08	16.7 ±0.90	7.4 ±0.65	0.4 ±0.10	26.0 ±1.38
<i>P. yucatanum</i>	1.7 ±0.13	16.6 ±0.17	6.0 ±0.76	0.4 ±0.03	24.8 ±0.49

CH = ciclohexano, ACE = acetona, MET = metanol, AC = agua caliente

El comportamiento de la solubilidad de las maderas estudiadas al realizar la extracción sucesiva con los diferentes disolventes se presenta en la Figura 5 y para cada disolventes en particular se presentan a continuación las gráficas de medias, donde se observa que en ningún caso hubo diferencia estadística significativa (Figuras 6 al 10): ciclohexano ($p=0.2126$), acetona ($p=0.9338$), metanol ($p=0.1922$), agua caliente ($p=0.8263$) y solubilidad total ($p=0.3579$) (Ver Apéndices).

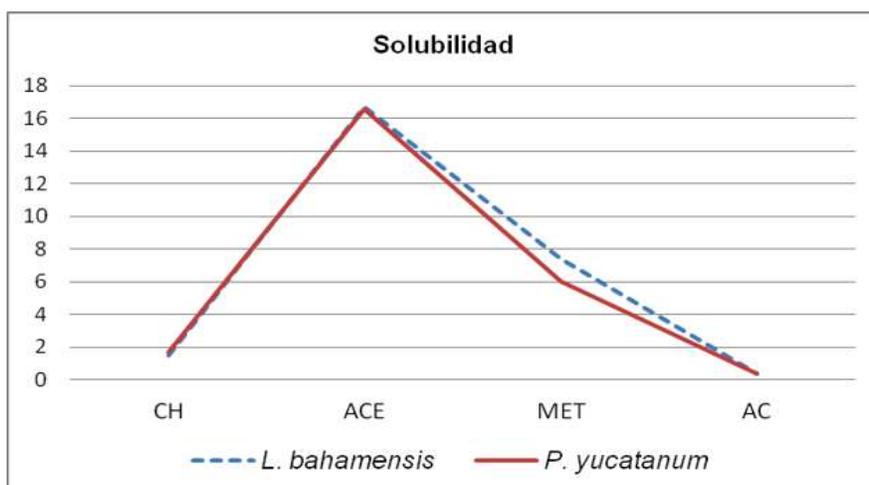


Figura 5. Comportamiento de la solubilidad a los diferentes disolventes durante la extracción sucesiva (%)

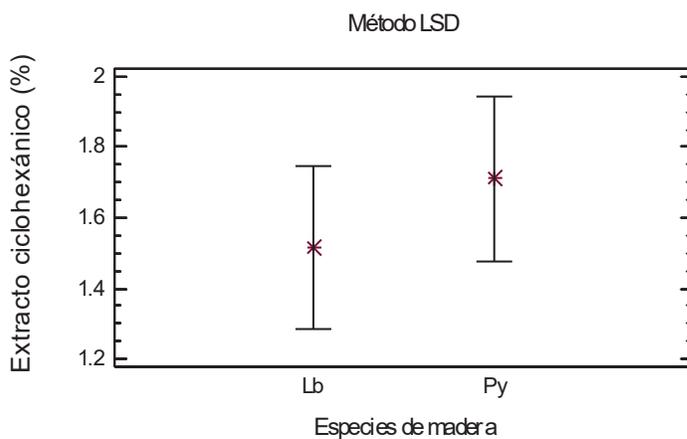


Figura 6. Gráfico de medias para la extracción con ciclohexano



Figura 7. Gráfico de medias para la extracción con acetona

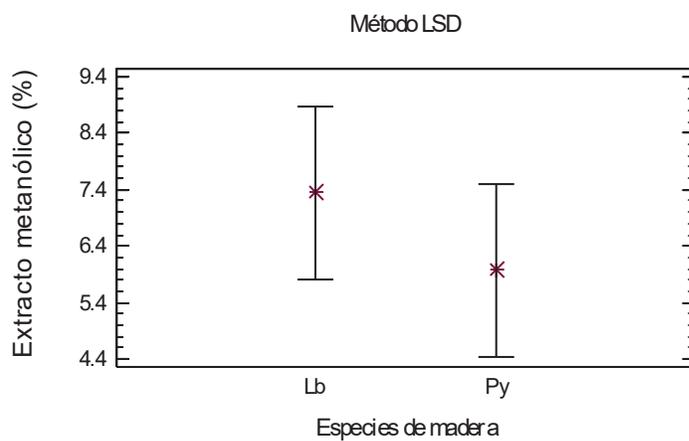


Figura 8. Gráfico de medias para la extracción con metanol

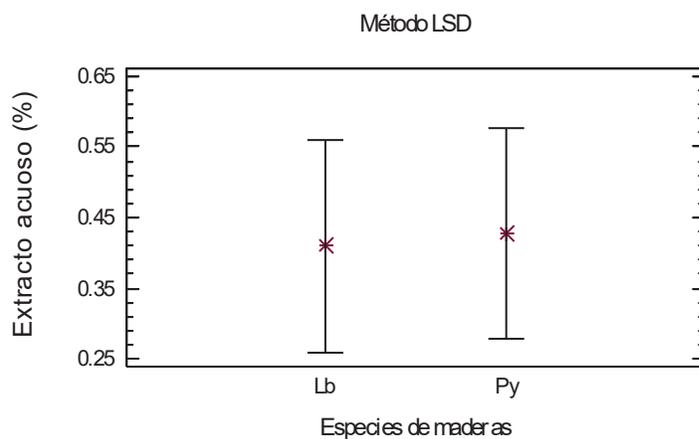


Figura 9. Gráfico de medias para la extracción con agua

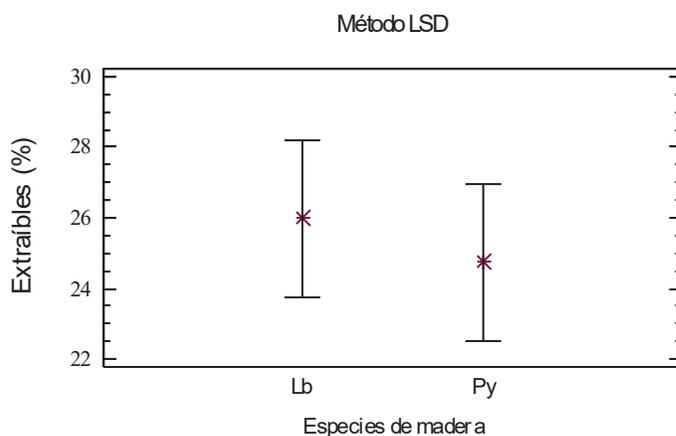


Figura 10. Gráfico de medias para la solubilidad total

6.4. Determinación de lignina

En la Tabla 5 se dan los valores del contenido de lignina de las maderas, sin encontrar diferencia estadística significativa ($p=0.2590$, Fig. 11; ver Apéndices).

Tabla 5. Contenido de lignina (%)

Madera	Lignina
<i>L. bahamensis</i>	34.8 ±0.69
<i>P. yucatanum</i>	37.5 ±2.35

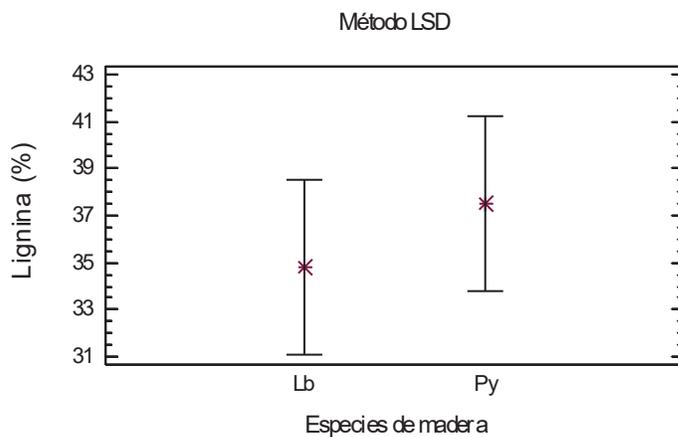


Figura 11. Gráfico de medias para el contenido de lignina

6.5. Determinación de holocelulosa

El valor de holocelulosa encontrado en las muestras aparece en la Tabla 6 sin diferencia estadística significativa ($p=0.2463$, Fig. 12; ver Apéndices).

Tabla 6. Contenido de holocelulosa (%)

Madera	Holocelulosa
<i>L. bahamensis</i>	79.6 ±1.15
<i>P. yucatanum</i>	81.0 ±0.14

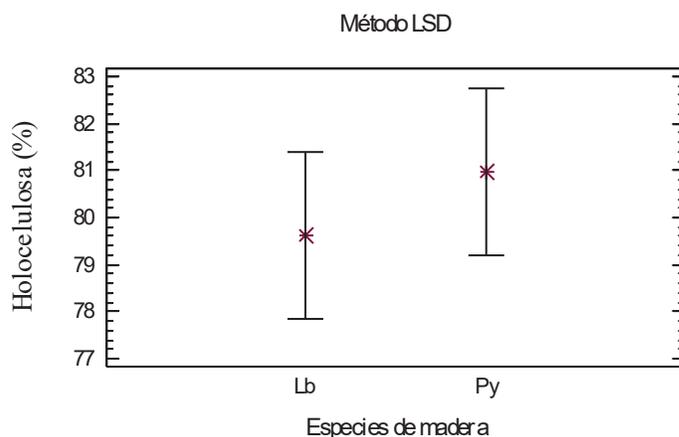


Figura 12. Gráfico de medias para el contenido de holocelulosa

6.6. Determinación de hemicelulosas

En la Tabla 7 se presenta el resultado promedio de hemicelulosas en las maderas estudiadas, valores que son estadísticamente iguales ($p=0.1075$, Fig. 13; ver Apéndices).

Tabla 7. Contenido de hemicelulosas (%)

Madera	Hemicelulosas
<i>L. bahamensis</i>	31.7±0.55
<i>P. yucatanum</i>	33.9±0.99

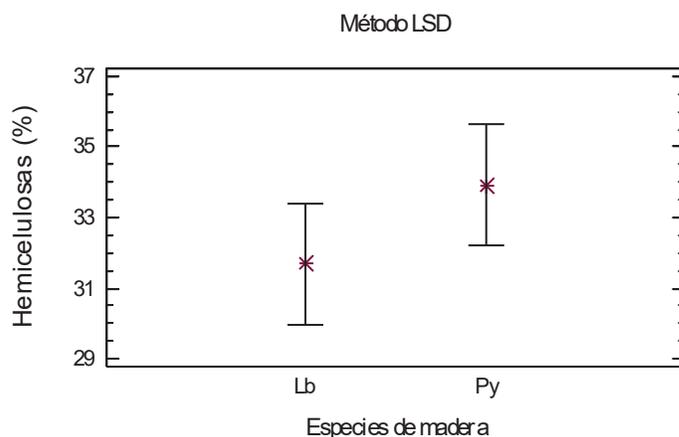


Figura 13. Gráfico de medias para el contenido de hemicelulosas

6.7. Determinación de alfa-celulosa

En la Tabla 8 se dan los valores encontrado de alfa-celulosa, no encontrando diferencia estadística significativa ($p=0.3436$, Fig. 14; ver Apéndices).

Tabla 8. Contenido de alfa-celulosa (%)

Madera	Alfa-celulosa
<i>L. bahamensis</i>	48.0 ±0.60
<i>P. yucatanum</i>	47.1 ±0.84

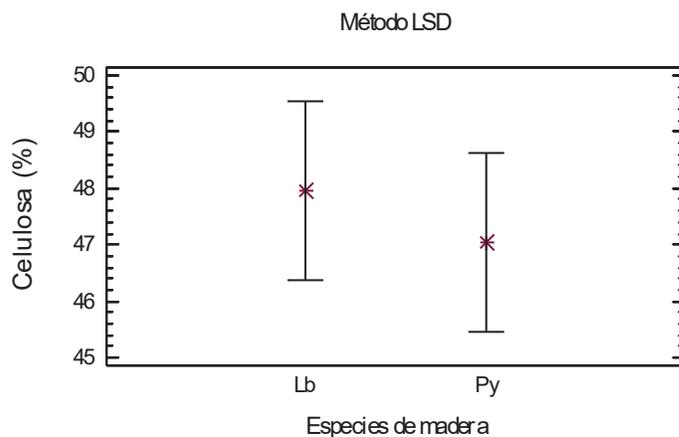


Figura 14. Gráfico de medias para el contenido de alfa-celulosa

6.8. Determinación de taninos

Los resultados del análisis para determinar la presencia de taninos en las muestras estudiadas aparecen en la Tabla 9. La prueba para detectar taninos hidrolizables fue negativa.

Tabla 9. Resultado de la determinación de taninos (%)

Maderas	Extracto total	No. de Stiasny	Taninos
<i>L. bahamensis</i>	1.9 ±0.16	8.5 ±1.8	0.2 ±0.02
<i>P. yucatanum</i>	1.60 ±0.30	5.6 ±2.1	8.5 ±1.79

No se encontraron diferencias estadísticas significativas para el extracto total ($p=0.3993$, Fig. 15) ni para el número de Stiasny ($p=0.2790$, Fig. 16), solamente en la cantidad de taninos ($p=0.0222$, Fig. 17; ver Apéndices).

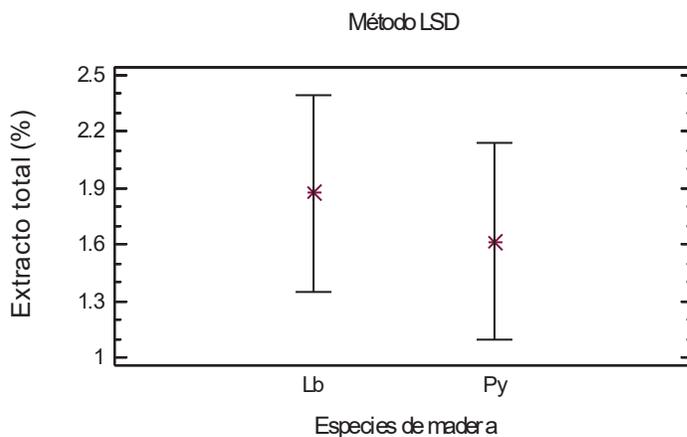


Figura 15. Gráfico de medias para el extracto total

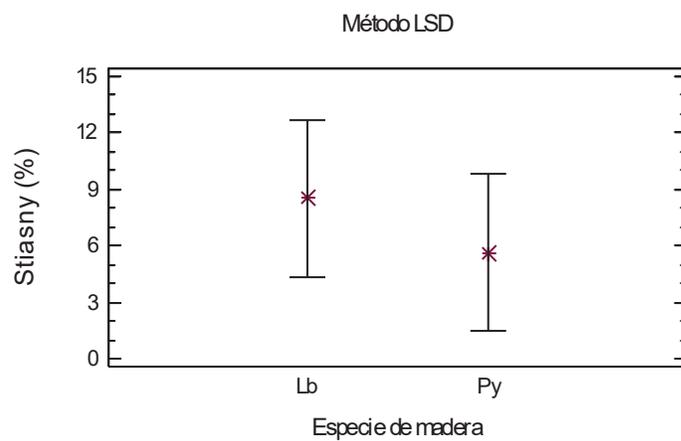


Figura 16. Gráfico de medias para el número de Stiasny

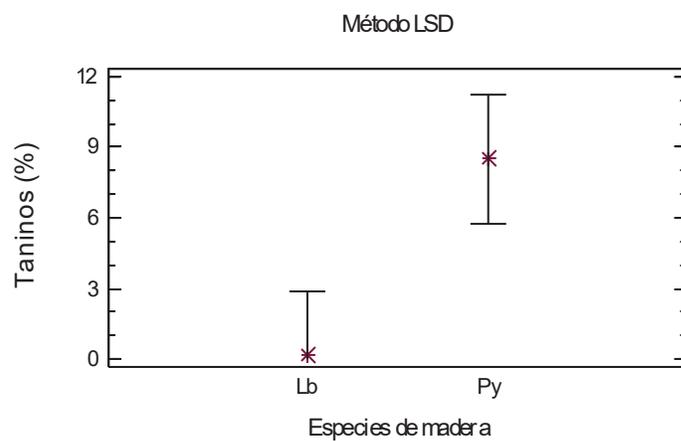


Figura 17. Gráfico de medias para el contenido de taninos

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El contenido de sustancias inorgánicas fue de 1.3% para *L. bahamensis* y de 1.4% para *P. yucatanum* (Tabla 1); valores menores al reportado para *Lysiloma acapulcensis* (2.0%) (Mondragón 2004) y mayor al encontrado en duramen de *Platymiscium lasiocarpum* (0.96%) (Rutiaga *et al.* 2010), especies cercanas a las aquí estudiadas. Sin embargo, el resultado aquí encontrado se ubica dentro del rango reportado en un estudio de diferentes maderas tropicales (Eduardo, Arakaki 2007).

En relación al microanálisis de las cenizas se encontraron seis elementos químicos en *L. bahamensis*, siendo potasio, calcio y fósforo los de mayor concentración, mientras que en *P. yucatanum* solamente se detectaron tres elementos y el de mayor proporción fue el calcio (Tabla 2). Los elementos comunes en ambas muestras fueron azufre, potasio y calcio. Estos elementos químicos aquí detectados es común encontrarlos en las maderas (Young, Guinn 1966; Choong *et al.* 1976; Cutter *et al.* 1980; Fengel, Wegener 1984).

El pH para ambas maderas fue de 4.7 (Tabla 3) y con este valor se consideran “ligeramente ácidas” (Kollmann 1959) y es igual al pH de algunas maderas tropicales como *Lophira procera* y *Shorea* sp (Fengel, Wegener 1984).

Mediante la extracción sucesiva aplicada a ambas muestras de madera no se encontró diferencia estadísticamente significativa, ni al comparar cada disolvente empleado (Figuras 5 a 8) ni al comparar el total de sustancias extraíbles (Tabla 4, Fig. 9). El resultado del comportamiento de la solubilidad de las maderas fue el esperado, es decir, al final de la extracción la cantidad obtenida en agua caliente fue menor que en las etapas anteriores (Tabla 4, Figura 4), lo que significa que se pudieron extraer la mayoría de las sustancias extraíbles de la madera y que la secuencia aplicada fue correcta.

La mayor solubilidad en ambas especies de madera fue en acetona (Tabla 4, Figura 4), disolvente de polaridad media, donde es común encontrar sustancias de tipo colorantes y polifenólicas (Fengel, Wegener 1984). El total de sustancias extraíbles para *L. bahamensis* fue de 26.0%, mayor al que se reporta (17.1%) para *L. acapulcensis* (Mondragón 2004) y para *P. yucatanum* el total fue de 24.8%, menor al encontrado (26.9%) en duramen de *P. lasiocarpum* (Rutiaga et al. 2010). El resultado de solubilidad total aquí encontrados indica que estas maderas son ricas en sustancias extraíbles cuyos valores son superiores al de otras especies de maderas tropicales (Fengel, Wegener 1984; Eduardo, Arakaki 2007).

El contenido de lignina en ambas maderas es relativamente alto (Tabla 5, Fig. 10) y coincide con reportes que indican que las maderas tropicales en general contienen más lignina que las maderas de clima templado frío (Fengel, Wegener 1984; Wagenfür 1989)

Para el caso del resultado de la cantidad de polisacáridos, el valor de holocelulosa para *L. bahamensis* (79.6%) (Tabla 6) es cercano al reportado (81.3%) para *L. acapulcensis* (Mondragón 2004), mientras que al comparar el obtenido (81.0%) para *P. yucatanum* con el reportado (53.3%) para *P. lasiocarpum* (Rutiaga et al. 2010) es mayor; el resultado para las maderas estudiadas es superior a los valores reportados para otras maderas tropicales (Fengel, Wegener 1984; Eduardo, Arakaki 2007). En relación al contenido de hemicelulosas, 31.5% para *L. bahamensis* y 33.9% para *P. yucatanum* (Tabla 7) son valores mayores a los señalados para otras especies tropicales como *Pterogota macrocarpa* (25.1%) y *Triplochiton sceroxylon* (20.1%), pero se encuentran en el rango reportado para diferentes especies latifoliadas de clima templado (Fengel, Wegener 1984). Finalmente en cuanto al por ciento de celulosa, los valores aquí obtenidos, para *L. bahamensis* 48.0%, para *P. yucatanum* 47.1% (Tabla 8), son comparables con los reportados (41.9-56.4%) para diferentes maderas tropicales (Eduardo, Arakaki 2007).

Al realizar el análisis de taninos los resultados indicaron que ambas maderas no contienen taninos hidrolizables, y poca cantidad de taninos condensables, sobre todo en *L. bahamensis* (0.2%); para el caso de *P. yucatanum* el valor de taninos obtenido fue de 8.5% (Tabla 9), ligeramente mayor al considerado (8.0%) como potencial comercial (Rowe, Conner 1979). También resultaron valores pequeños, tanto la cantidad de extracto total como el Número de Stiasny (Tabla 9), por lo que en general se concluye que las maderas estudiadas contienen bajo contenido de taninos y no representa un potencial de extracción con fines comerciales.

8. CONCLUSIONES

El contenido de sustancias inorgánicas fue de 1.3% para *L. bahamensis* y de 1.4% para *P. yucatanum*.

Se encontraron seis elementos químicos en la cenizas de *L. bahamensis*, siendo potasio, calcio y fósforo los de mayor concentración, mientras que en *P. yucatanum* solamente se detectaron tres elementos y el de mayor proporción fue el calcio. Los elementos comunes en ambas muestras fueron azufre, potasio y calcio.

El pH para ambas maderas fue de 4.7 y con este valor se consideran “ligeramente ácidas”

Mediante la extracción sucesiva aplicada a ambas muestras de madera no se encontró diferencia estadísticamente significativa, ni al comparar cada disolvente empleado ni al comparar el total de sustancias extraíbles.

La mayor solubilidad en ambas especies de madera fue en acetona e indica que estas maderas son ricas en sustancias extraíbles.

Se encontró que los contenidos de lignina, holocelulosa y celulosa en las maderas son comparables con datos reportados para otras maderas tropicales.

No se encontraron taninos hidrolizables en las maderas, y baja cantidad de taninos condensables, por lo que se concluye que las maderas estudiadas contienen bajo contenido de taninos y no representa un potencial de extracción con fines comerciales.

9. BIBLIOGRAFÍA

American Society for testing and materials (ASTM) Annual Book of ASTM Standards. Part 22: wood, adhesives. Philadelphia. 1192p.

Barajas MJ, León GC (1989) Anatomía de Maderas de México: Especies de una selva baja caducifolia. Publicaciones Especiales 1. Instituto de Biología. UNAM. México. 124 pp.

Bárcenas Pasos GM (1995) Caracterización Tecnológica de 20 especies Maderables de la Selva Lacandona. Madera y Bosques 1(1): 9-38.

Benavides J (2003) Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa para la sostenibilidad en la ganadería. Memorias del Taller Internacional de Ganadería, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Instituto de Investigaciones de Patos y Forrajes. La Habana, Cuba. p. 157.

Choong ET, Abdullah G, Kowalczyk J (1976) LSU Wood Utilization. Notes No. 29.

Cutter BE, McGuinness EA, McKown DH (1980) Inorganic concentrations in selected woods and charcoals measured using NAA. Wood and Fiber 12: 72-79.

Deans JD, Diagne O, Nizinski J, Lindley DK, Seck M, Ingleby K, Munro RC (2003) Comparative growth, biomass production, nutrient use and soil amelioration by nitrogen-fixing tree species in semi-arid Senegal. Forest Ecology and Management 176: 153-264.

De la Paz Pérez Olvera C, Vélez Jiménez S, Serrano García A, Rochin García B (2002) La madera de las guitarras de Paracho, Michoacán. ContactoS 54: 45-53.

Echenique-Manrique R, Plumtre RA (1994) Guía para el uso de Maderas de Belice y México. Universidad de Guadalajara, Consejo Británico, Laboratorio de ciencia y Tecnología de la Madera, A.C. Universidad de Oxford.

Eduardo Santana MA, Arakaki Okino EY (2007) Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. Holzforschung 61: 469-477.

Fengel D, Wegener G (1984) Wood - chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter. Berlin. 613 p.

Jamaludheen V, Mohan KB (1999) Litter of multipurpose trees in Kerela, India: variations in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. Forest Ecology and Management 115: 1-11.

Kollmann F (1959) Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y el Servicio de la Madera. Ministerio de Agricultura. Madrid, España.

Mondragón-Nogez VS (2004) Contribución al conocimiento de la madera de *Lysiloma acapulcensis* (Kunth) Benth. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 92p.

Mondragón-Noguez VS, Rutiaga-Quiñones JG, López-Urquiza ME, Cruz de León J (2002) Caracterización química de la madera *Lysiloma acapulcensis* (Kunth.) Benth. V Encuentro de Investigación en Ingeniería Química y Áreas Afines. 18 de abril de 2002. 18 de abril de 2002. Morelia, México. Memorias pp 6-7.

Mondragón-Noguez VS, Herrera-Ferreyra MA, Rutiaga-Quiñones JG (2010) Descripción anatómica y propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Lysiloma acapulcensis* (Kunth) Benth. (*Leguminosae*). Revista Ciencia Nicolaita 52: 165-178.

Monreal Rangel S (s/a) Nuestros Árboles. Ficha Técnica. México Forestal No. 4, Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal.

Montgomery DC (1991) Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México.

Niembro Rocas A (1990) Árboles y arbustos útiles de México. Ed. Limusa. México. 206p.

Pennington TD, Sarukhán J (2005) Árboles Tropicales de México. Manual de Identificación de las principales especies. Texto Científico Universitario. Ediciones Universitarias, 3ª Edición, México. 523p.

Pinto R, Gómez H, Hernández A, Medina F, Martínez B, Aguilar V H, Villalobos I, Nahed J, Carmona J (2003) Preferencia ovina de árboles forrajeros del centro de Chiapas, México. Pastos y Forrajes 26(4): 329-334.

Pozo de la Tijera MC, Calmé S (2005) Uso y monitoreo de los recursos naturales en el Corredor Biológico Mesoamericano (áreas focales Xpujil-Zoh Laguna y Carrillo Puerto). El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. Informe final Global SNIB-CONABIO BJ002. México, D. F.

Reyes-Chilpa R, Gómez-Garibay F, Moreno-Torres G, Jiménez-Estrada M, Quiroz-Velásquez RI (1998) Flavonoids and isoflavonoids with antifungal properties from *Platymiscium yucatanum* heartwood. *Holzforschung* 52(5): 459-462.

Rowe JW, Conner AH (1979) Extractives in Eastern hardwoods – e review. General Technical Report FPL 18. USDA-FS-FPL-GTR. 67p.

Rutiaga-Quiñones JG, Pedraza-Bucio FE, López-Albarrán P (2010) Componentes químicos principales de la madera de *Dalbergia granadillo* Pittier y de *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16(2): 179-186. ISSN: 0186-3231.

Runkel ROH, Wilke KD (1951) Zur Kenntnis des thermoplastischen Verhaltens von Holz. Holz Roh Werkstoff. 9:260-270.

Rzedowski J (1978) La vegetación de México. LIMUSA. México.

Salazar R, Soihet C (2001) *Lysiloma bahamensis* Benth. Manejo de semillas de 75 especies forestales en América latina. Serie Técnica. Manual Técnico (CATIE) No. 48. v. 2, p 37 – 38.

Sandermann W, Rothkamm M (1959) Über die Bedeutung der pH-Werte von Handelshölzern und deren Bedeutung für die Praxis. Holz Roh Werkstoff. 17:433-440.

Soca M, Ana G F, Simón L, Roche R (2003) Producción animal y biodiversidad en un sistema silvopastoril de formación natural. Pastos y Forrajes 26(4): 321-327.

Tamarit-Urias JC, Fuentes-Salinas M (2003) Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(2): 155:164.

TAPPI (2000) Test Methods TAPPI Press. Atlanta.

Valenciaga N, Mora C. Noda A (2008) Comportamiento de la artropodofauna asociada a un área de *Lysiloma bahamensis*, destinada a la sombra de los animales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 42(3): 299-303.

Wagenführ R (1989) Anatomie des Holzes. VEB Fachbuchverlag. Leipzig. 334 S.

Wise (1946) In: Sanjuán Dueñas R. (1991). Guía práctica para la especialidad en celulosa y papel I. Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guadalajara.

Waterman PG, Mole S (1994) Blackwell Scientific Publications, pp 85-96.

Yazaki Y, Hillis WE (1977) Polyphenolic extractives of *Pinus radiata* bark. Holzforschung 31: 20-25.

Young JH, Guinn VP (1966) Chemical elements in complete mature trees of seven species in Maine. Tappi 49(5): 190-197.

Zavala-Zavala D, Vázquez-Rodríguez M (2001) Determinación de las características de maquinado de la madera de 34 especies tropicales. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 7(2): 169-183.

10. APÉNDICES

Apéndice 1. Anova para contenido de cenizas

ANOVA Table - CENIZAS

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.0029106	1	0.0029106	3.55	0.2004
Within groups	0.00164149	2	0.000820743		
Total (Corr.)	0.00455209	3			

Apéndice 2. Anova para pH

ANOVA Table - pH

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.0004	1	0.0004	0.20	0.6985
Within groups	0.004	2	0.002		
Total (Corr.)	0.0044	3			

Apéndice 3. Anova para el contenido de extraíbles en ciclohexano

ANOVA Table CICLOHEXANO

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.0380055	1	0.0380055	3.26	0.2126
Within groups	0.0232922	2	0.0116461		
Total (Corr.)	0.0612977	3			

Apéndice 4. Anova para el contenido de extraíbles en acetona

ANOVA Table ACETONA

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.00369664	1	0.00369664	0.01	0.9338
Within groups	0.840396	2	0.420198		
Total (Corr.)	0.844092	3			

Apéndice 5. Anova para el contenido de extraíbles en metanol

ANOVA Table METANOL

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1.89475	1	1.89475	3.76	0.1922
Within groups	1.00864	2	0.504321		
Total (Corr.)	2.90339	3			

Apéndice 6. Anova para el contenido de extraíbles en agua caliente

ANOVA Table ACUOSO

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.000301022	1	0.000301022	0.06	0.8263
Within groups	0.00967881	2	0.0048394		
Total (Corr.)	0.00997983	3			

Apéndice 7. Anova para el contenido total de extraíbles

ANOVA Table TOTAL DE EXTRAIBLES

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1.50062	1	1.50062	1.40	0.3579
Within groups	2.13917	2	1.06959		
Total (Corr.)	3.6398	3			

Apéndice 8. Anova para el contenido de lignina

ANOVA Table LIGNINA

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	7.28784	1	7.28784	2.44	0.2590
Within groups	5.98565	2	2.99283		
Total (Corr.)	13.2735	3			

Apéndice 9. Anova para el contenido de holocelulosa

ANOVA Table HOLOCELULOSA

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1.77502	1	1.77502	2.63	0.2463
Within groups	1.34975	2	0.674874		
Total (Corr.)	3.12477	3			

Apéndice 10. Anova para el contenido de hemicelulosas

ANOVA Table HEMICELULOSAS

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	4.99321	1	4.99321	7.83	0.1075
Within groups	1.27464	2	0.637322		
Total (Corr.)	6.26786	3			

Apéndice 11. Anova para el contenido de alfa-celulosa

ANOVA Table CELULOSA

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.814055	1	0.814055	1.51	0.3436
Within groups	1.07525	2	0.537624		
Total (Corr.)	1.8893	3			

Apéndice 12. Anova para el contenido de extracto total

ANOVA Table EXTRACTO TOTAL

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.0661518	1	0.0661518	1.13	0.3993
Within groups	0.117196	2	0.0585982		
Total (Corr.)	0.183348	3			

Apéndice 13. Anova para el número de Stiasny

ANOVA Table No. de STIASNY

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	8.25183	1	8.25183	2.17	0.2790
Within groups	7.62076	2	3.81038		
Total (Corr.)	15.8726	3			

Apéndice 14. Anova para el contenido de taninos

ANOVA Table TANINOS

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	69.7242	1	69.7242	43.59	0.0222
Within groups	3.19882	2	1.59941		
Total (Corr.)	72.923	3			