



Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

FENOLOGIA, CRECIMIENTO EN DIÁMETRO, ANATOMÍA Y TECNOLOGÍA
DE DOS ESPECIES ARBÓREAS DE COSTA GRANDE, GUERRERO

T E S I S

Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Biológicas y de la Salud

P R E S E N T A

M. en C. Elizandro Pineda Herrera

Comité tutorial:

Directora: Dra. Carmen de la Paz Pérez Olvera

Codirector: Dr. Raymundo Dávalos Sotelo

Asesor: Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández

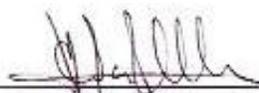
Julio, 2013

El Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Excelencia del CONACyT y además cuenta con apoyo del mismo Consejo, con el convenio PFP-20-93.

El jurado designado por las Divisiones de Ciencias Biológicas y de la Salud de las Unidades Iztapalapa y Xochimilco aprobó la tesis que presentó

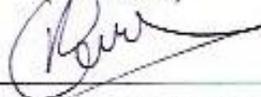
Elizandro Pineda Herrera

Jurado:



Dra. Carmen de la Paz Pérez Olvera

(Presidenta)



Dr. Raymundo Dávalos Sotelo

(Secretario)



Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández

(Vocal)



Dra. Amparo Borja de la Rosa

(Vocal)



Dra. Paz Alejandra Quintanar Isaias

(Vocal)

DEDICATORIA

IN MEMORIAM

*Hipólito Herrera Nuñez
(1930-2013)*

*Mi tío, cuyo ejemplo de trabajo y honestidad siempre serán un referente en mi vida,
su disposición y apoyo fue determinante para realizar esta investigación*

*Ismael Magaña
(1940-2013)*

Por su apoyo, disposición y hospitalidad para trabajar en “El Chilcahuite”

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Alicia y Fortino por seguir alentando mis sueños

A los contribuyentes que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología financiaron este posgrado

A la Universidad Autónoma Metropolitana por integrarme a su comunidad estudiantil y recibir todos los beneficios que de ello derivaron

A la familia Herrera Hernández por su apoyo y su hospitalidad

A la familia del Sr. Ismael Magaña por su disposición y hospitalidad

A la familia Villa Pineda por su hospitalidad

A mi comité tutorial por la dedicación y el valioso tiempo que destinaron a este proyecto; también un reconocimiento a su labor como profesores e investigadores

A la Maestra Reyna Paula Zárate por su ayuda en la realización de las pruebas físico-mecánicas

A la coordinación del doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, a la Dra. María Jesús Ferrara Guerrero y a la Dra. Reyna Fierro Pastrana de cuyas respectivas gestiones recibí apoyo, orientación y motivación.

A la Dra. Alejandra Quintanar por su disposición para revisar este trabajo y por sus recomendaciones; además de compartir con un servidor el formidable universo de la hidráulica del xilema.

A la Dra. Amparo Borja por fungir como jurado y por sus valiosas aportaciones al trabajo

Al Servicio Meteorológico Nacional por proporcionar los datos del clima

A la Maestra Anita Jaramillo por su ayuda en el procesamiento y montaje del material para las fotografías de las puntuaciones

Al Biol. Exp. Jesús Rivera Tapia por su ayuda en la anatomía de la madera

Al Dr. José Sepulveda de la Unidad de Microscopia de la UAMI por el procesamiento de imágenes de microscopía electrónica de las puntuaciones

A la Biol. María Esther Sánchez de la Central de Microscopia de la ENCB del IPN por el procesamiento de imágenes de microscopía electrónica de las puntuaciones

*Nos gusta beber y torear autos,
llenar de bluses la noche
Amar a mujeres desconocidas
reírnos de la vida con una luz de bengala
en cada mano.*

*Atrapar las palomas de la muerte
y clavetearlas en el manto rojo del crepúsculo
Solemos besar a nuestras novias antiguas
y después compartirlas con calor
tememos que este asunto termine de pronto
y nos pesque desnudos una tarde sin Dios.
Nos gusta chuparnos el pulgar mojado de ginebra
cotorrearnos y mentarnos la madre muy en serio.*

*Somos hijos descarriados.
Somos hijos buenos y tristes.
Moldeados por una resaca
de sesentayochos, Beatles y terremotos
sin posibilidad de lazar estrellas
o dejarnos mojar por chisquetes de luz invernal.*

*Nos gusta torear autos,
llenar de bluses la noche.*

José Cruz Camargo/REAL DE CATORCE

RESUMEN

El estudio contempla aspectos de fenología, crecimiento en diámetro y características tecnológicas de dos especies forestales: *Enterolobium cyclocarpum* Jacq (Griseb) y *Hura polyandra* Baill. en una selva mediana subcaducifolia de Zihuatanejo de Azueta. Se evalúa la fenología registrando bimestralmente durante dos años: caída de hojas, floración, fructificación y brote de hojas, haciendo la correlación con la precipitación y la temperatura. En ambas especies se establecen categorías diamétricas y se mide el crecimiento cada dos meses empleando bandas dendrométricas, relacionándolo con la simetría e iluminación de la copa, durante un periodo de dos años. La periodicidad del crecimiento se determinó realizando heridas al cambium a 1.30 m (DAP) cada dos meses y obteniendo la rodaja correspondiente al término del experimento para evaluar la correspondencia entre mes del año y ancho del anillo de crecimiento. Las curvas de crecimiento se ajustan matemáticamente al modelo Gompertz y se comparan estadísticamente los incrementos entre categorías diamétricas, así como entre tres simetrías y entre tres iluminaciones de copa. La anatomía macroscópica de la madera se describe con especímenes de 15 cm x 7 cm x 1 cm y microscópicamente con preparaciones fijas de cortes de 20 μ m de grosor, ambos en secciones transversales, tangenciales y radiales; así mismo se estudia material disociado. Para los ensayos físicos y mecánicos se emplean probetas libres de defectos de diferentes dimensiones, efectuando los ensayos con madera secada al aire y posteriormente acondicionada a un contenido de humedad (CH) cercano al 12 %; los resultados se ajustan a un CH =

12%. De cada característica se hace un análisis estadístico y se clasifican de acuerdo con la media. Para el secado al aire libre, se construye una pila con tabloncillos y prismas, registrándose la humedad y temperatura del ambiente de manera continua durante 40 días. Ambas especies difieren en su calendario fenológico, *E. cyclocarpum* presenta su caída de hojas de finales de septiembre a enero, florece de diciembre a marzo, fructifica de marzo a mayo y su brote de hojas ocurre de marzo a septiembre. *H. polyandra* se defolia de marzo a mayo, florece de marzo a julio, fructifica de marzo a septiembre y su brote de hojas ocurre de julio a enero. En *E. cyclocarpum* el brote de hojas se correlaciona significativamente ($p < 0.01$) con la temperatura, en *H. polyandra* las correlaciones significativas ocurren entre la caída de hojas con la precipitación de forma negativa ($p < 0.05$) y la floración con la temperatura ($p < 0.01$). El patrón de crecimiento en diámetro de ambas especies es anual y se relaciona con la dinámica de la precipitación. *E. cyclocarpum* crece más con copas simétricas y *H. polyandra* con copas iluminadas. Anatómicamente las especies presentan vasos de diámetro mediano, radios uniseriados, extremadamente bajos y fibras de longitud mediana de diámetro fino. Presentan diferencias en el número de poros y la longitud de los vasos, en el número y anchura de los radios, en el grosor de la pared de las fibras y en la anchura de los anillos de crecimiento. En las propiedades físicas, difieren en la densidad, en su coeficiente de anisotropía y en el punto de saturación de la fibra. Las contracciones son bajas, excepto la radial de *E. cyclocarpum* que es muy baja; esta especie es poco estable y *H. polyandra* es

muy estable. Los valores de las propiedades mecánicas y el tiempo de secado son diferentes entre ambas especies.

Palabras clave: Selva mediana subcaducifolia, Zihuatanejo de Azueta, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hura polyandra*, usos de la madera.

ABSTRACT

The study covers aspects of phenology, diameter growth and technological features in two forest species: *Enterolobium cyclocarpum* Jacq (Griseb) and *Hura polyandra* Baill. on a semi-deciduous tropical dry forest of Zihuatanejo de Azueta, México. Phenology is assessed every two months for two years recording: falling leaves, flowering, fruiting and leaf flushing, making the correlation with precipitation and temperature. In both species are established and measured diameter categories every two months growth using dendrometer bands, relating to symmetry and lighting of the crown, for a period of two years. The periodicity of growth determining doing injury to the cambium to 1.30 m (DAP) every two months and getting the slice corresponding to the end of experiment to evaluate the correspondence between date and of growth ring width. The growth curves fit the Gompertz model mathematically and statistically compared between diameter categories increases and three symmetries and three crown illuminations. The macroscopic anatomy of the timber is described specimens 15 cm x 7 cm x 1cm and fixed preparations microscopically cuts 20 μ m thick, both in cross sections tangential and radial, likewise dissociated material is studied. For physical and mechanical tests are used defect-free specimens of different sizes, making the testing air-dried wood and then conditioned to a moisture content (MC) close to 12%, the results conform to a CH = 12% . For each feature is a statistical analysis and classified according to the average. For drying outdoors, building a pile of planks and prisms, recording the ambient humidity and temperature continuously for 40 days. Both species differ in their phenological calendar, *E.*

cyclocarpum presents its fall leaf late September to January from December to March flowers, fruits from March to May and leaves flushing occurs from March to September. *H. polyandra* are defoliated from March to May, blooms from March to July, fruiting from March to September and leaf unfolding occurs from July to January. In *E. cyclocarpum* flushing of leaves was significantly correlated ($p < 0.01$) with temperature, in *H. polyandra* significant correlations occur between fall leaf with a negative precipitation ($p < 0.05$) and flowering with temperature ($p < 0.01$). The diameter growth pattern of both species is annual and is related to the dynamics of precipitation. *E. cyclocarpum* grows with crown symmetric and *H. polyandra* with lighted crown. Anatomically species have medium diameter vessels, uniseriate rays, extremely low and medium length fiber fine diameter. Differ in the number of pores and vessel length, number and width of the spokes, on the wall thickness of the fibers and the width of the growth rings. In the physical properties differ in density in its anisotropy coefficient, and the point of fiber saturation. Contractions are low radial except *E. cyclocarpum* which is very low, this species is unstable and *H. polyandra* is very stable. The values of the mechanical properties and the drying time are different between the two species.

Key words: Tropical forest semideciduos, Zihuatanejo de Azueta, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hura polyandra*, uses of wood

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Fenología.....	4
1.2 Crecimiento y periodicidad	6
1.3 Características anatómicas de la madera	8
1.4 Propiedades tecnológicas de la madera	9
2 OBJETIVOS	11
3 MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Área de estudio	12
3.1.1 Localización geográfica y política	12
3.1.2 Geomorfología	13
3.1.3 Clima	13
3.1.4 Geología	14
3.1.5 Suelo.....	14
3.1.6 Vegetación.....	14
3.1.7 Recursos forestales maderables	16
3.2 Descripción botánica de las especies estudiadas	16
3.2.1 <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb	16
3.2.2 <i>Hura polyandra</i> Baill.	18
3.3 Fenología.....	20
3.4. Crecimiento en diámetro y periodicidad	20
3.4.1 Crecimiento en diámetro	20
3.4.2 Periodicidad	23
3.5 Características anatómicas de la madera	23
3.5.1 Macroscópicas.....	24
3.5.2 Microscópicas.....	25
3.6 Propiedades tecnológicas de la madera	26
3.6.1 Físicas	27
3.6.2 Mecánicas	29
3.6.3 Secado	33
4 RESULTADOS	34
4.1 Fenología.....	34
4.2 Crecimiento en diámetro y periodicidad	41
4.2.1 Crecimiento en diámetro	41
4.2.2 Periodicidad	56
4.3 Características anatómicas de la madera	57
4.3.1 Macroscópicas.....	57
4.3.2 Microscópicas.....	58
4.4 Propiedades tecnológicas de la madera	63
4.4.1 Físicas	63
4.4.2 Mecánicas	64

4.4.2 Secado	66
5 DISCUSIÓN	68
6 CONCLUSIONES	76
7 BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	
Análisis de muestras de suelo en los sitios de estudio	93
Artículos derivados de la investigación	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Registro de las especies de estudio-----	16
Cuadro 2. Valores de eventos fenológicos en ambas especies. -----	38
Cuadro 3. Coeficientes de correlación (Pearson) entre elementos del clima y eventos fenológicos en ambas especies.-----	38
Cuadro 4. Crecimiento promedio anual de categorías diamétricas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	44
Cuadro 5. Prueba de la T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de categorías diamétricas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	44
Cuadro 6. Crecimiento promedio anual de simetrías de copas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> . -----	46
Cuadro 7. Prueba de T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de simetrías de copa de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> . -----	46
Cuadro 8. Crecimiento promedio anual de iluminación de copas de <i>Enterolobium</i> ----- <i>cyclocarpum</i> . -----	48
Cuadro 9. Prueba de la T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de iluminación de copas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	48
Cuadro 10. Crecimiento promedio anual de categorías diamétricas de <i>Hura polyandra</i> .-----	52
Cuadro 11. Prueba de T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de categorías diamétricas de <i>Hura polyandra</i> -----	52
Cuadro 12. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de simetrías de copas de <i>Hura polyandra</i> . -----	54
Cuadro 13. Prueba de la T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de simetrías de copas de <i>Hura polyandra</i> -----	54
Cuadro 14. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de iluminación de copas de <i>Hura polyandra</i> . -----	55
Cuadro 15. Prueba de la T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de iluminación de copas de <i>Hura polyandra</i> . -----	55
Cuadro 16. Valores anatómicos mensurables de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	60
Cuadro 17. Valores anatómicos mensurables de <i>Hura polyandra</i> -----	63
Cuadro 18. Características físicas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	64
Cuadro 19. Características físicas de <i>Hura polyandra</i> -----	64
Cuadro 20. Características mecánicas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	66
Cuadro 21. Características mecánicas de <i>Hura polyandra</i> -----	66
Cuadro 22. Características del secado de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	67
Cuadro 23. Características del secado de <i>Hura polyandra</i> -----	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio a. estado de Guerrero. b. costa Grande. c. Los Varillos, El Chilcahuite. -----	12
Figura 2. Diagrama climático de la zona de estudio.-----	13
Figura 3. Perfil altitudinal de la vegetación arbórea de Costa Grande, Guerrero.----	15
Figura 4. Categorización de copas de árboles de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> y <i>Hura polyandra</i> de acuerdo con su simetría e iluminación.-----	22
Figura 5. Material de estudio. a Trozas y rodajas b. cubos c. arreglo de prismas y tablas en la pila de secado al aire libre. d. vista frontal.-----	24
Figura 6. Probetas para pruebas mecánicas.-----	27
Figura 7. Calendario fenológico para ambas especies. -----	34
Figura 8. Eventos fenológicos de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	35
Figura 9. Eventos fenológicos de <i>Hura polyandra</i> -----	37
Figura 10. Dendrofenograma de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> .-----	39
Figura 11. Dendrofenograma de <i>Hura polyandra</i> -----	40
Figura 12. Crecimiento de todos los árboles de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	41
Figura 13. Crecimiento en diámetro para las categorías diamétricas de 5, 10 Y 15 cm de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	42
Figura 14. Crecimiento de las categorías diamétricas de 20, 25 y 30 cm de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> -----	43
Figura 15. Crecimiento de árboles de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> con copas asimétricas y parcialmente simétricas. -----	45
Figura 16. Crecimiento de árboles de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> con copas totalmente simétricas. -----	46
Figura 18. Crecimiento de árboles de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> con copas poco, parcial y totalmente iluminadas. -----	47
Figura 19. Crecimiento en diámetro de todos los árboles de <i>Hura polyandra</i> -----	49
Figura 20. Crecimiento en diámetro para las categorías diamétricas de 5 cm de <i>Hura polyandra</i> -----	49
Figura 21. Crecimiento en diámetro para las categorías diamétricas de 10, 15 y---- 20 cm de <i>Hura polyandra</i> .-----	50
Figura 22. Crecimiento en diámetro para las categorías diamétricas de 25 y 30 cm de <i>Hura polyandra</i> -----	51
Figura 23. Crecimiento de árboles de <i>Hura polyandra</i> con copas parcial y totalmente simétricas. -----	53
Figura 24. Crecimiento de árboles de <i>Hura polyandra</i> con copas parcialmente iluminadas.-----	54
Figura 25. Crecimiento de árboles de <i>Hura polyandra</i> con copas totalmente iluminadas -----	55
Figura 26. Heridas al cambium en <i>Enterolobium cyclocarpum</i> . -----	56
Figura 27. Heridas al cambium en <i>Hura polyandra</i> .-----	57
Figura 28. a. dos elementos de vaso (20x). b. fibra de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (10x).-----	59

Figura 29. Puntuaciones ornamentadas de elementos de vaso de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> a. (5000x). b. (30000x).-----	60
Figura 30. a. un elemento de vaso (20x) b. fibra de <i>Hura polyandra</i> (10x). -----	62
Figura 31. Puntuaciones de elementos de vaso de <i>Hura polyandra</i> a. (250x). b. (2000x).-----	62
Figura 32. Gráfica a curva P-Delta (carga-deformación) para la prueba de compresión paralela en a. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> y b. <i>Hura polyandra</i> .-----	65
Figura 33. Comportamiento del secado al aire libre de ambas especies-----	67

ÍNDICE DE LÁMINAS

Lámina 1. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> . a. árbol. b. corteza. c. hoja, d. fruto. e. semillas. f. flores.-----	18
Lámina 2. <i>Hura polyandra</i> a. árbol. b. corteza. c. hoja. d. flor masculina. e. flor femenina. f. fruto. g. semillas. -----	19
Lámina 3. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> . Tablillas: a. transversal. b. tangencial. c. radial. Cortes: d. transversal (5x). e. tangencial (10x). f. radial (10x). g. Puntuaciones areoladas ornamentadas en vasos (100x). h. Gomas en vasos (40x). i. Cristales prismáticos en parénquima (40x).-----	59
Lámina 4. <i>Hura polyandra</i> . Tablillas: a. transversal. b. tangencial. c. radial. Cortes: d. transversal (5x). e. tangencial (10x). f. radial (10x). g. Puntuaciones areoladas en vasos (100x). h. Tíldes (10x). i. Cristales prismáticos en parénquima (40x).-----	61

1 INTRODUCCIÓN

Alrededor del 40% de los ecosistemas terrestres corresponden a áreas tropicales y subtropicales. De estos 42% son selvas secas y 58% son selvas húmedas (Holdridge, 1982). En México, aquellas denominadas como secas o caducifolias se clasifican en: selvas bajas caducifolias, selvas bajas subcaducifolias, selvas medianas caducifolias y selvas medianas subcaducifolias (INEGI, 2005); su distribución abarca en el pacífico, desde Sonora hasta Chiapas, la cuenca del Balsas, el norte de la Península de Yucatán, en la vertiente del Golfo en Tamaulipas, San Luis Potosí y porción central de Veracruz; se caracterizan por presentar un periodo de sequía de hasta ocho meses de duración, son biodiversos y sometidos a cambios de uso de suelo para fines agropecuarios; principalmente (Trejo y Dirzo, 2000; Balvanera, 2009).

En la vertiente del Pacífico mexicano este tipo de vegetación está presente en las siete regiones geopolíticas que constituyen el estado de Guerrero: Acapulco, Centro, Costa Chica, Costa Grande, Montaña, Norte y Tierra Caliente. Costa Grande es la de mayor extensión territorial (14 mil 710.7 kilómetros cuadrados) y una de las que mayor riqueza forestal presenta, flanqueada hacia el norte por la Sierra Madre del Sur, es considerada rica en biodiversidad y servicios ambientales. Está conformada por ocho municipios: Atoyac de Álvarez, Benito Juárez, Coahuayutla de José María Izazaga, Coyuca de Benítez, La Unión de Isidoro Montes de Oca, Tecpan de Galeana, Petatlán y Zihuatanejo de Azueta, en ella se presentan selvas bajas caducifolias y medianas subcaducifolias (Pineda *et al.*, 2012a).

Costa Grande posee especies arbóreas tropicales pertenecientes a familias botánicas como: Leguminosae, Euphorbiaceae, Burseraceae, Bignoniaceae, Bombacaceae, entre otras; destacando las dos primeras entre las que mayor número de especies comprenden. Varios estudios florísticos como el de Fonseca y Lozada (1993) en la laguna de Coyuca (Coyuca de Benítez), el de Lozada (1994) en la laguna de Mitla (Atoyac de Álvarez-Coyuca de Benítez-Benito Juárez) y los trabajos de Lorea y Lozada (1989) además de Gallardo (1996) en Zihuatanejo de Azueta registraron la presencia de *Astronium graveolens*, *Brosimum alicastrum*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Cordia elaeagnoides*, *Tabebuia rosea*, *Amphyterygion adstringens*, *Hura polyandra*, *Pseudobombax ellipticum*, todas ellas consideradas de importancia etnobotánica, ecológica, industrial y pecuaria (Castillo *et al.*, 2009; López y Valdez, 2011; Román *et al.*, 2011).

Entre otras especies, *Enterolobium cyclocarpum* y *Hura polyandra* destacan por ser pioneras heliófitas durables que participan en las primeras etapas de la sucesión de forma intensa requiriendo luz y perdurando en comunidades clímax; aun cuando no se conoce suficiente sobre su reproducción y desarrollo (Gallegos *et al.*, 2008). Moran *et al.* (2008) en su estudio de algunos ejidos de Costa Grande resaltan la necesidad de generar información que apoye a los tomadores de decisiones del sector forestal, así como difundir las ventajas socio-ambientales de manejar las selvas y los bosques de la región. Ante este escenario, son importantes los estudios que contemplen aspectos ecológicos y tecnológicos que contribuyan a manejar y conservar esta biodiversidad.

La madera de Parota (*E. cyclocarpum*) en otros estados es valorada maderablemente para: artesanías, canoas, carpintería, carretas, construcciones rurales, chapa, decoración de interiores, duela, ebanistería, embarcaciones, lambrín, madera aserrada, muebles, paneles, postes, ruedas de carretas, triplay y utensilios de cocina (Robles, 1978; Guridi, 1980; Pennington y Sarukhán, 2005; Silva, 2008; Román *et al.*, 2011). La madera de Habillo es valorada para: artesanías, carpintería, construcciones rurales, chapas, embalajes, mangos para herramientas, muebles y triplay (Pennington y Sarukhán, 2005; Silva, 2008; Román *et al.*, 2011).

Así mismo, la utilización de los recursos maderables debe considerar su eficiente transformación y la mejora de ingresos de los pobladores locales a fin de interesar a estos mismos en la gestión y aprovechamiento responsable de sus selvas (Bustamante, 2003). En este sentido, la determinación de las propiedades mecánicas y físicas de la madera son determinantes para establecer criterios que permitan dar un mayor uso a especies tropicales a través de medidas como: el reemplazo de otros materiales, haciendo más eficiente el uso de los materiales y proponiendo métodos de industrialización diferentes (Youngs y Chudnoff, 1983).

El presente estudio planteó estudiar la fenología, el crecimiento en diámetro, las características anatómicas, propiedades físico-mecánicas y tiempo de secado de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. (Griseb) y *Hura polyandra* Baill., dos especies arbóreas pioneras de las selvas medianas subcaducifolias del municipio de Zihuatanejo de Azueta, Guerrero.

1.1 Fenología

El término fenología se deriva del vocablo griego *phaino* “lo que se muestra” o “lo aparente”. Formalmente puede definirse como: “la ciencia que trata sobre los cambios fisiológicos periódicos que experimentan las plantas” (López, 2005). En zonas cálidas, la dinámica fenológica es más compleja de entender que en aquellas templado-frías, debido a la uniformidad de la temperatura y a la presencia constante de humedad en algunas selvas ecuatoriales con alta precipitación (Van Schaik *et al.*, 1993).

Newstrom *et al.* (1994) señalan que el conocimiento en la fenología de los árboles tropicales, explica fluctuaciones en las poblaciones animales debido al consumo de frutos o flores de ciertas especies de plantas, así como la cantidad de descomponedores y la acumulación de materia orgánica relacionada con la caída de hojas. Plana (2000) señala que la determinación de periodos de floración, polinización, dispersión de semillas, germinación, así como aspectos de la dinámica sucesional son indispensables para una gestión sostenida de los recursos forestales tropicales.

En selvas con marcada estación seca, la intensidad de los eventos fenológicos es contrastante ya que muchos árboles y arbustos pierden sus hojas y las recuperan conforme se intensifican las lluvias. En México, los estudios fenológicos de especies arbóreas en selvas secas se han realizado en Yucatán por Valdez *et al.* (2010) para *Acacia gauderi*, *Apoplanesia paniculata*, *Bursera simaruba*, *Gymnopodium*

floribundum y *Diospyros cuneata* y concluyen que la precipitación es el factor de mayor influencia en su fenología; Borchert *et al.* (2004) en tres estados mexicanos (Jalisco-Yucatán-Sonora) y en Costa Rica (Guanacaste) concluyen que la estacionalidad de la precipitación y la disponibilidad de agua en el suelo no constituyen el único factor que determina eventos como la floración. Pineda *et al.* (2012b) en una selva de Oaxaca mencionan que la estacionalidad del clima y factores geográficos determinan la fenología de *Vochysia guatemalensis* y *Schizolobium parahyba*.

En la vertiente del Pacífico la investigación fenológica se ha realizado principalmente en Chamela, Jalisco donde los eventos de floración y brote de hojas se asociaron al inicio de las lluvias (Bullock y Solís, 1990; Bullock, 2002); así mismo la caída de hojas estuvo influenciada por la precipitación y la floración lo estuvo por factores bióticos como la competencia por polinizadores (Lobo *et al.*, 2003), en Sinaloa se encontró una asociación positiva entre la aparición de hojas y precipitación para *Hura polyandra* y con la temperatura para *Enterolobium cyclocarpum* (Estrada *et al.*, 2010).

Para Costa Grande, Guerrero se realizó un registro de la floración de una muestra de árboles, arbustos, herbáceas y epífitas en el Parque ecológico “La Vainilla” en Zihuatanejo de Azueta (Gallardo, 1996). Este trabajo destaca que la mayoría de las especies observadas durante nueve meses, florecieron en la época de precipitación,

por lo que investigaciones considerando otros eventos y correlaciones con factores biofísicos como el clima son inexistentes.

Gallegos *et al.* (2008) en su estudio en la Costa de Jalisco señalan la necesidad de investigar sobre la fenología del bosque tropical en todas sus etapas sucesionales, para conocer las particularidades de la reproducción y desarrollo de aquellas especies que además son apreciadas por sus cualidades comerciales.

1.2 Crecimiento y periodicidad

El término crecimiento de árboles ha sido abordado desde muchos enfoques, primeramente como un suceso fisiológico inherente a la biología de las especies, así como un aspecto básico en su aprovechamiento. López (2005) menciona que una planta leñosa puede elongarse y engrosarse, este último hecho es resultado de la dinámica del cambium vascular y es responsable del aumento en el diámetro.

El crecimiento en diámetro proporciona información valiosa sobre las especies y factores ambientales; así como la implicación de ambos sucesos en prácticas de manejo (Cameron y Lea, 1980; Clark y Clark, 1994). En su determinación se han utilizado diferentes metodologías que incluyen: el seguimiento periódico de mediciones (Borman y Kozlowski, 1962), la interacción con los factores del clima como la temperatura (Kozlowski *et al.*, 1962), la precipitación (Palmer y Ogden, 1983) y su interpretación ecofisiológica (Jacquart *et al.* 1992).

Esta medición periódica del diámetro ha implicado el uso de equipo e instrumentos (cinta diamétrica, bandas dendrométricas, dendrografos), así como la estimación bajo restricciones estacionales de humedad y de luz (Auclair y Cottam, 1973). Particularmente el uso de bandas dendrométricas (López-Ayala *et al.*, 2006a) destaca como un método adecuado para determinar el incremento (Mariaux, 1967b; Botosso y Vetter, 1989), lo que también permite la modelación matemática (Zhang, 1997; Hiratsuka *et al.*, 2007) y la evaluación de factores como la cantidad y calidad de luz incidente en la copa de los árboles (Brienen y Zuidema, 2005; Manzano *et al.*, 2010).

Los patrones de crecimiento y la edad son tópicos de importancia en el estudio de la dinámica del bosque a través del análisis de la periodicidad en la formación de anillos de crecimiento (Worbes, 1999; Brienen y Zuidema, 2005). Para su estudio se han empleado métodos como marcas hechas con alfileres (Wolter, 1968), “Ventanas de Mariaux” (Mariaux, 1967a) y heridas longitudinales (López-Ayala *et al.*, 2006b). Estos métodos hierren el cámbium vascular y dejan una cicatriz en la madera con fechas conocidas que se corroboran mediante observaciones macroscópicas al obtener una sección transversal del tronco. Así se determina si el anillo se formó durante un año.

La periodicidad en selvas secas de México ha tenido incipientes acercamientos y constituyen un tema importante debido a la diversidad de especies arbóreas y variantes de selvas con estas características. Se tienen algunos antecedentes en México (Makocki y Valdez, 2001; López-Ayala *et al.*, 2006b; Galán *et al.*, 2011) en la

Costa del Pacífico con especies de importancia ecológica, económica y cultural que se distribuyen en selvas bajas caducifolias y medianas subcaducifolias.

1.3 Características anatómicas de la madera

La anatomía de la maderas es importante para hacer correlaciones con factores ecológicos o antrópicos, interpretar el comportamiento del clima, realizar determinaciones taxonómicas y para recomendar usos (Harold y Hocker, 1984; Guindeo *et al.*, 2000; León y Espinoza de Pernia, 2001). De la Paz Pérez y Quintanar (1994) señalan que el desconocimiento de las características anatómicas de la madera de gran número de especies origina que se recurra al uso improvisado de las mismas, lo que repercute en un bajo rendimiento durante su vida útil ya que no reúnen las especificaciones requeridas para su uso.

En selvas mexicanas los antecedentes sobre anatomía de la madera destacan por el número de especies estudiadas y las regiones de las cuales se tiene mayor información, ejemplo de ello son los trabajos de De La Paz Pérez *et al.* (1979) donde se describen 43 especies provenientes del sureste, Rebollar *et al.* (1996, 1997) describe la anatomía de ocho especies en la selva subperennifolia de Quintana Roo.

En las selvas estacionales o secas, algunas familias de árboles están mayoritariamente representadas, tal es el caso de las Leguminosas como *Enterolobium cyclocarpum* cuya anatomía la han hecho Cárdenas (1971) y Corral (1985) en ejemplares de selvas húmedas de la vertiente del Golfo. De selvas secas

de la vertiente del Pacífico se conoce la investigación de Guridi (1980) quien describe las características macroscópicas y los usos de la madera.

1.4 Propiedades tecnológicas de la madera

La estructura particular de la madera explica su naturaleza heterogénea y anisotrópica (sus características físicas y mecánicas varían de un punto a otro del árbol y en una misma pieza), así mismo el comportamiento del material también depende el contenido de humedad en el ambiente y de aquel contenido en la estructura misma (Echenique y Robles, 1993). De esta forma, la humedad en la madera modifica su resistencia mecánica y va acompañada del hinchamiento o expansión, mientras que el secado conlleva a la contracción que al no ser manejada correctamente implica deformación y agrietamiento de la pieza que se trate (Gorchakov, 1984).

Youngs y Chundnoff. (1983) señalan que en los bosques tropicales hay potencial maderable no aprovechado, porque la extracción se enfoca más en la abundancia de una sola especie, lo cual puede sustituirse por mezclas de especies de las cuales se conozcan sus propiedades.

Otros estudios enfocados a especies de selvas caducifolias han sido el de Borges (2007) quienes hacen una relación exhaustiva de propiedades físico-mecánicas de especies brasileñas entre las que se encuentran representados géneros como *Enterolobium*, *Hura*, *Cordia* y *Brosimum*, Silva (2008) realiza una compilación de

algunas características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México, entre las que se citan a *Enterolobium cyclocarpum*, *Hura polyandra*, *Tabebuia rosea* y González *et al.* (2004) realizaron pruebas de cortante paralelo y de tensión en *E. cyclocarpum* y *Bursera simaruba* en Yucatán.

Zavala (2000), en su estudio sobre especies tropicales, presenta el programa de secado de *E. cyclocarpum*, considerándola con buenos resultados. Silva (2008) la considera moderadamente difícil de secar al aire libre ya que presenta deformaciones importantes; el mismo autor indica que *Hura polyandra* es difícil de secar, tanto al aire libre como en estufa.

2 OBJETIVOS

2.1 General

Caracterizar el crecimiento en diámetro, la fenología, la anatomía y la tecnología de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Hura polyandra* de una selva mediana subcaducifolia de Zihuatanejo de Azueta, Guerrero.

2.2 Específicos

- Registrar los eventos fenológicos y correlacionarlos con la temperatura y la precipitación.
- Cuantificar el crecimiento en diámetro y determinar su periodicidad.
- Describir anatómicamente la madera en ambas especies.
- Determinar las propiedades físicas, mecánicas y el tiempo de secado de su madera.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

3.1.1 Localización geográfica y política

Las localidades donde se llevó a cabo el estudio se denominan: “Los varillos” (440 m snm) y “El Chilcahuite”, (380 m snm) ambos en el ejido “La Laja y anexos” (17° 53' 58" N, 101° 44' W) (INEGI, 2005) (Figura 1), en el municipio de Zihuatanejo de Azueta que colinda al norte con Coahuayutla de José María Izazaga y Coahuayutla de José María Izazaga; al sur con el Océano Pacífico; al este con Petatlán y al oeste con la Unión de Isidoro Montes de Oca; en la región Costa Grande, estado de Guerrero.

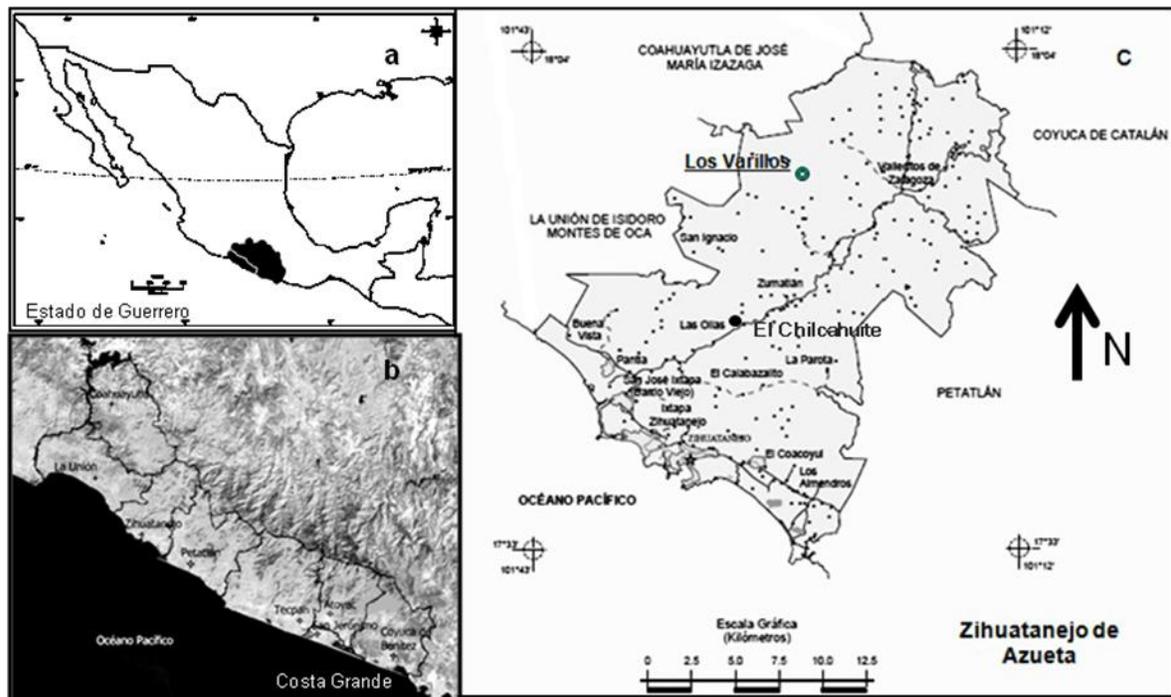


Figura 1. Zona de estudio a. estado de Guerrero. b. costa Grande. c. Los Varillos, El Chilcahuite.

3.1.2 Geomorfología

Pertenece a la provincia Sierra Madre del Sur y a la subprovincia Cordillera Costera del Sur (31.13%) con topoformas de Sierra baja compleja (47.89%), Sierra de cumbres tendidas (20.2%), Sierra alta compleja (10.94%), Los Varillos es una meseta rodeada por cerros con pendientes pronunciadas y lomeríos moderados. El sitio Chilcahuite es una cañada con declives de hasta 20% de pendiente (INEGI, 2009).

3.1.3 Clima

Es cálido subhúmedo y subcálido con lluvias en verano (Aw): con una precipitación total anual que oscila entre 1,100 a 1,500 milímetros (SMN, 2011), temperatura media anual 16 a 28 °C (Figura 2).

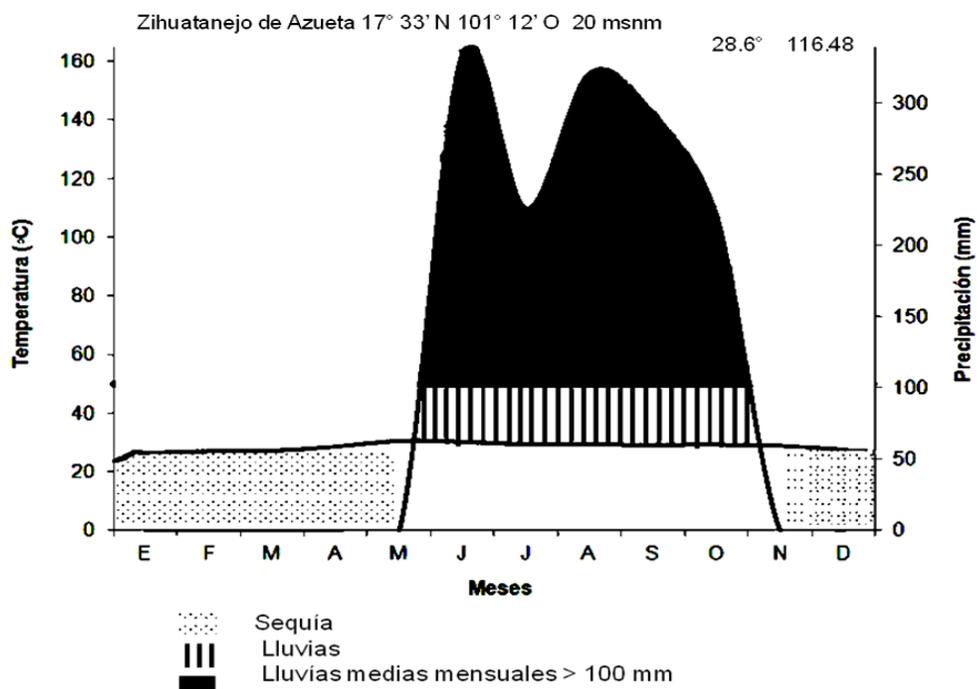


Figura 2. Diagrama climático de la zona de estudio.

3.1.4 Geología

Se presentan afloramientos de rocas ígneas extrusivas metamórficas del Cenozoico superior, Metamórfica: metavolcánica (14.89%) y metasedimentaria (9.72%), Ígnea intrusiva: granito-granodiorita (27%) y granodiorita (6.38%), Ígnea extrusiva: andesita-toba intermedia (12.54%), toba ácida (11.31%) y andesita (0.85%), Sedimentaria: caliza (8.05%), lutita-arenisca (0.95%) y arenisca (0.1%) (INEGI, 2009).

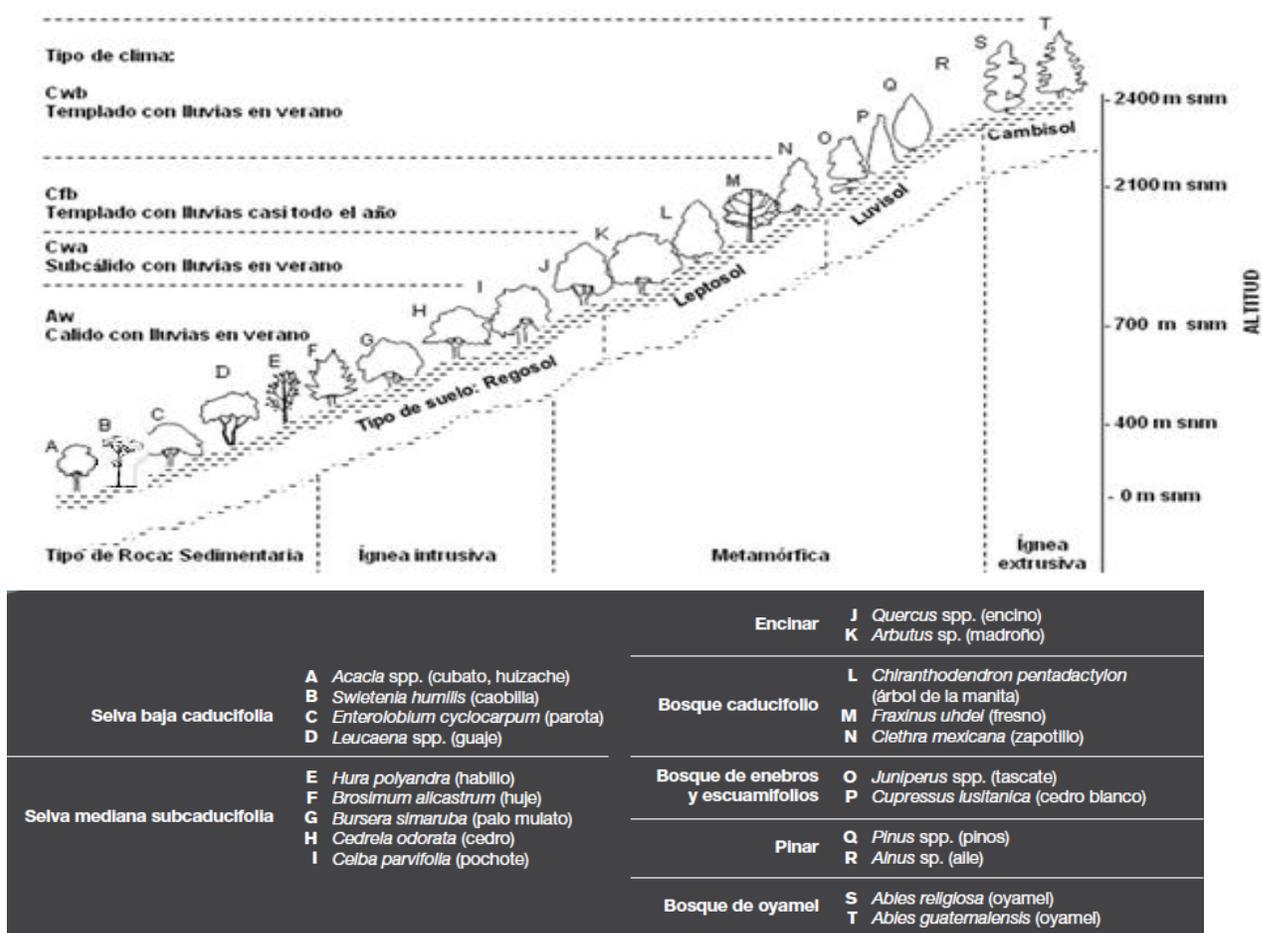
3.1.5 Suelo

Los suelos son de origen volcánico, de textura franco-arcillosa, color café-grisáceo, rojos y amarillos, drenaje medio, con un pH de 4.8 a 6.5. Los suelos encontrados son: Leptosol (62.22%), Luvisol (15.01%), Regosol (7.98%), Cambisol (6.88%), Phaeozem (3.75%), Fluvisol (1.08%), Arenosol (0.53%), Vertisol (0.47%) y Solonchak (0.29%) (INEGI, 2009).

3.1.6 Vegetación

La constituyen elementos de selva mediana subcaducifolia caracterizada porque que la mayoría de sus árboles pierden sus hojas durante la época de secas, entre las herbáceas las familias importantes son: Compositae y Poaceae, en el estrato arbustivo destacan miembros de las familias rubiaceae y myrthaceae. Epífitas de las familias Bromeliaceae y Orchideaceae, en las trepadoras leñosas dominan especies

de la familia Leguminosae, Euphorbiaceae y Bignoniaceae. Los géneros más importantes de árboles de la selva son: *Brosimum*, *Enterolobium*, *Bursera*, *Licania*, *Hymenaea*, *Swietenia*, *Tabebuia*, *Ficus*, *Lysiloma*, *Ceiba*, *Cedrela*, *Cordia*., *Astronium* (Lorea y Lozada, 1989; Gallardo, 1996). La altura promedio es mayor a los 15 metros, en general de 25 a 30 m, con algunos ejemplares emergentes que alcanzan los 35 m (*Brosimum alicastrum*) (Pineda et al., 2012a) (Figura 3).



Adaptado de Pineda et al. (2012^a)

Figura 3. Perfil altitudinal de la vegetación arbórea de Costa Grande, Guerrero.

3.1.7 Recursos forestales maderables

Las especies del género *Pinus* son las que mayormente se aprovechan, en segundo lugar algunas latifoliadas (*Fraxinus*, *Alnus*) y encinos (*Quercus*) para obtener madera en rollo o en tablas. No existen aprovechamientos de productos no maderables autorizados (Pineda *et al.*, 2012a).

3.2 Descripción botánica de las especies estudiadas

Las características botánicas, distribución geográfica y nombres comunes se consultaron en Pennington y Sarukhán (2005) a excepción de las medidas dasométricas y la distribución altitudinal que se obtuvieron directamente en la zona de estudio (Pineda *et al.*, 2012a). Las muestras para anatomía se depositaron en la Xiloteca UAMIZ y los ejemplares botánicos se registraron en el Herbario Metropolitano UAMIZ Dr. Ramón Riba y Nava (Cuadro 1).

Cuadro 1. Registro de las especies de estudio

Especie	Familia Subfamilia	Nombres comunes	Registros UAMIZ	
			Xiloteca	Herbario
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Leguminosae Mimosoideae	Parota, Guanacastle, Orejón	M-280	73423
			M-281	73424
<i>Hura polyandra</i>	Euphorbiaceae Euphorbioideae	Habillo, Jabilla	M-282	73427
			M-283	73428

3.2.1 *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb

Es una especie que pertenece a la familia Leguminosae y a la subfamilia Mimosoideae, tiene una forma de vida arbórea, alturas de hasta 30 m de alto y

diámetros de hasta 3 m, tronco derecho con pequeños contrafuertes en la base, ramas ascendentes y copa hemisférica, frecuentemente más ancha que alta. Es una Presenta corteza fisurada de color castaño rojizo (HUE 2.5YR 4/6), con numerosas lenticelas. Hojas compuestas, de hasta 40 cm de largo, bipinnadas, con numerosos folíolos de 10 a 12 mm de largo. Es una especie hermafrodita con flores en cabezuelas, blancas, 1.5 a 2 cm de diámetro y un fruto en vaina lignificada, en forma de media luna, de 7 a 12 cm de diámetro. Semillas ovoides y planas, de 1.5 a 2.3 cm de diámetro (Pineda *et al.*, 2012c) (Lámina 1). Se distribuye en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta la depresión Central de Chiapas; incluyendo la Cuenca del Balsas. En la vertiente del Golfo, desde el Sur de Tamaulipas hasta el Norte de Yucatán. Como especie pionera en asociaciones primarias/secundarias en selvas bajas caducifolias y medianas subcaducifolias; así como en selvas perturbadas del tipo: altas perennifolias y medianas subperennifolias (Pennington y Sarukhán, 2005). Altitudinalmente se le encuentra de 0 a 800 m snm. Algunos de sus nombres comunes son: Parota, Guanacastle Orejón. Usos: La madera se utiliza en la fabricación de utensilios domésticos, muebles y herramientas, así como sus hojas y frutos en la alimentación animal, sus semillas en la alimentación animal y humana, su corteza en la medicina humana (Román *et al.*, 2011).



Lámina 1. *Enterolobium cyclocarpum*. a. árbol. b. corteza. c. hoja, d. fruto. e. semillas. f. flores.

3.2.2 *Hura polyandra* Baill.

Es una especie que pertenece a la familia Euphorbiaceae y a la subfamilia Euphorbioideae, tiene una forma de vida arbórea, altura de de 7 a 25 m de altura y diámetros de 0.30 a 1 m (DAP), tronco erecto con corteza lisa de color castaño claro (HUE 7.5 YR 6/3) con numerosas espinas. Hojas simples, de hasta 17 cm de largo, ovadas a orbiculares. Árbol monoico Flores masculinas en espiga de 12 a 16 cm de largo, las femeninas solitarias en pedúnculos de 6 a 7 cm de largo. Fruto en cápsula multivalvada y lignificada de 5 x 10 cm de diámetro, cubierta con abundantes lenticelas. Semillas circulares y planas, de 3 cm de diámetro (Pineda *et al.*, 2012c) (Lámina 2). Se distribuye geográficamente en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta la depresión Central y Norte de Chiapas, incluyendo la Cuenca del Balsas. En

la vertiente del Golfo desde el sureste de San Luis Potosí hasta el Norte de Quintana Roo. Forma parte de las selvas medianas subcaducifolias en ambas vertientes, en zonas donde hay periodos de sequía bien definidos y largos (Pennington y Sarukhán, 2005). Altitudinalmente se le encuentra de 150 a 1,000 m snm. Usos: Algunos de sus nombres comunes son: Habillo, Jabilla, Haba de San Ignacio. Se ha empleado en construcciones, muebles, decoración y chapa, sus semillas se utilizan en la medicina animal (Román *et al.*, 2011).



Lámina 2. *Hura polyandra* a. árbol. b. corteza. c. hoja. d. flor masculina. e. flor femenina. f. fruto. g. semillas.

3.3 Fenología

Se eligieron individuos sanos, de fuste recto y en edad reproductiva: quince de *Enterolobium cyclocarpum* y quince de *Hura polyandra* (Fournier y Charpantier, 1975). Bimestralmente de marzo de 2010 a Julio 2012 en *E. cyclocarpum* y de mayo de 2010 a Julio de 2012 en *H. polyandra* se registró la fenología de cada uno de los individuos seleccionados utilizando binoculares. Se registro en cada uno de los individuos: a) caída de hojas, b) flores, c) frutos y d) brote de hojas; todos expresados en una escala del 0 al 4 según el porcentaje de presencia de cada evento: Ausencia total del evento (0), 1-25% (1), 26-50% (2), 51-75% (3) y 76-100% (4) (Fournier, 1974; Pineda *et al.*, 2012b). Se estableció el porcentaje total por cada evento en el bimestre, sumando el total de valores, dividiéndolo entre el máximo (4) y multiplicándolo por 100, los promedios se correlacionarán paramétricamente (Pearson) con las variables temperatura del aire y precipitación (STATA Corp., 2001), obtenidos para los periodos de observación de la estación Zihuatanejo del Servicio Meteorológico Nacional.

3.4. Crecimiento en diámetro y periodicidad

3.4.1 Crecimiento en diámetro

En la localidad “Los Varillos” fueron seleccionados dieciocho árboles de *Enterolobium cyclocarpum* los cuales fueron medidos desde Marzo del 2010 hasta Julio del 2012 y en “El Chilcahuite” la selección abarcó veintiun individuos de *Hura polyandra* medidos desde Mayo de 2010 a Julio de 2012, las mediciones se hicieron cada dos

meses. En ambas especies, los árboles se clasificaron en seis categorías diamétricas a la altura del pecho (DAP=1.30 m del suelo) en seis intervalos: 2.5-7.49 cm (categoría 5), 7.5 - 12.49 cm (categoría 10), 12.5 - 17.49 cm (categoría 15), 17.7 – 22.49 cm (categoría 20), 22.5 – 27.49 cm (categoría 25) y 27.5 – 32.49 cm (categoría 30) para colocarles una banda dendrométrica construida en el lugar (Catellino *et al.*, 1986, López-Ayala *et al.*, 2006a). Los datos se ajustaron al modelo no lineal Gompertz, cuya expresión matemática es:

$$W_t = W_r e^{-ke^{-gt}}$$

W_t = Biomasa a la edad (t)

W_r = Máxima cantidad de biomasa (crecimiento asintótico)

e = Número de euler (2.71828182)

k = Parámetro adimensional

g = Tasa instantánea de crecimiento

t = Punto de inflexión de la curva

Las copas de los árboles medidos de ambas especies se categorizaron modificando las propuestas de Dawkins (1958) y Manzano *et al.* (2010):

Simetría 1: copa asimétrica.

Simetría 2: copa parcialmente simétrica.

Simetría 3: copa simétrica (Figura 4a).

Iluminación 1: copa poco iluminada (recepción de luz vertical o lateral poca).

Iluminación 2: copa parcialmente iluminada (recepción vertical o lateral parcial).

Iluminación 3: Copa totalmente iluminada (recepción vertical o lateral total)

(Figura 4b).

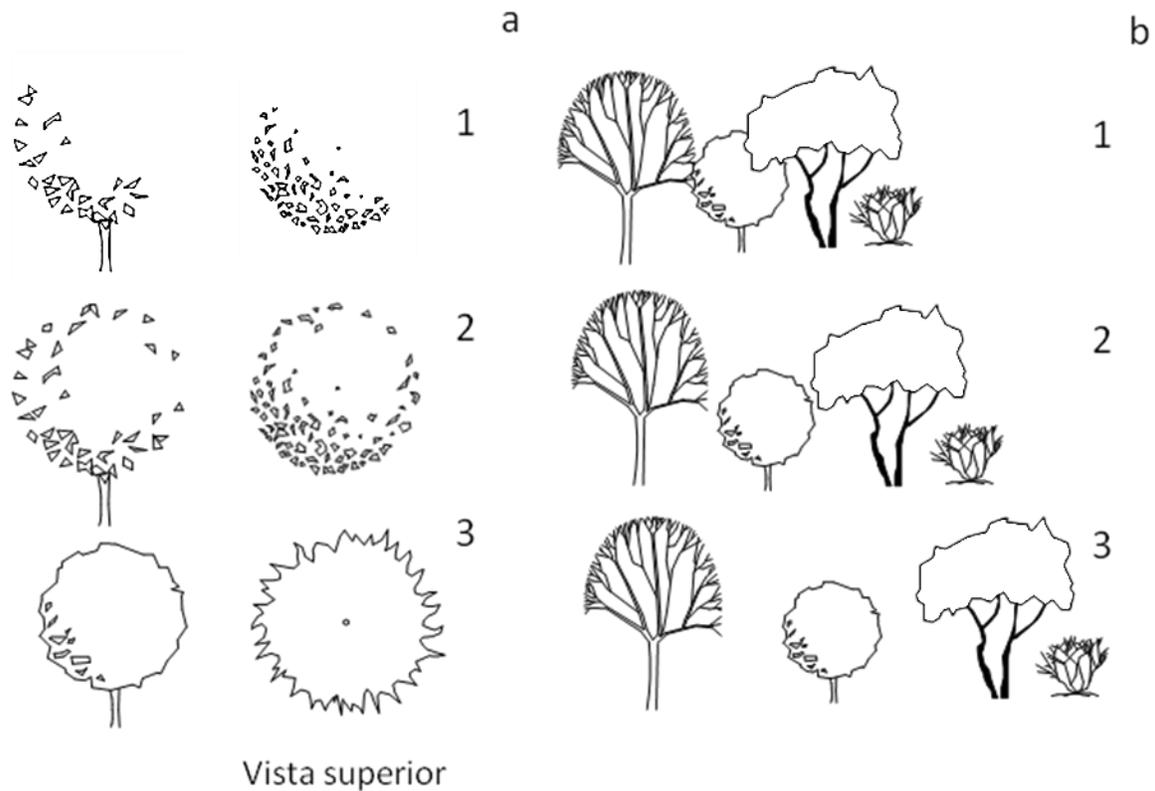


Figura 4. Categorización de copas de árboles de *Enterolobium cyclocarpum* y *Hura polyandra* de acuerdo con su simetría e iluminación.

Se realizó una comparación estadística de las funciones de crecimiento (W, g, t) del modelo utilizado para las categorías diamétricas, las simetrías y las iluminaciones de copa, empleando la prueba multivariada T^2 de Hotelling en el paquete estadístico

Stata (STATA Corp., 2001). Esta prueba confronta hipótesis entre dos grupos, comparando sus matrices de covarianza por medio de una T^2 calculada que se equipara con una T^2 teórica o de tablas (generalización multivariada de la t -Student univariada), si la primera es mayor que la segunda, se estima que los grupos crecen diferente y si los intervalos de confianza para cada función de crecimiento (W, g, t) no contienen al "0", entonces hay diferencias significativas ($p < 0.01$, $p < 0.05$) que se expresan como valores del estadístico F (Salgado *et al.*, 2005).

3.4.2 Periodicidad

Para estudiar la periodicidad en el crecimiento fue seleccionado un individuo por especie a los cuales se les realizaron incisiones de aproximadamente 3 mm de ancho, 5 mm de profundidad y 100 mm de longitud, el individuo de *Enterolobium cyclocarpum* fue herido de marzo de 2010 a abril de 2012 y en *Hura polyandra* de mayo de 2010 a julio de 2012, al término de estos periodos los árboles se derribaron para obtener la rodaja correspondiente y determinar si el crecimiento fue anual (López-Ayala *et al.*, 2006b; Galán *et al.*, 2011).

3.5 Características anatómicas de la madera

Se recolectaron dos árboles por especie en la localidad "Los Varillos" con una altura total aproximada de 8 m y de 30 a 35 cm de diámetro cada uno. De cada árbol se obtuvieron cuatro trozas de base a copa, la primera de 0 a 1.30 m se utilizó para el estudio anatómico (Figura 5).

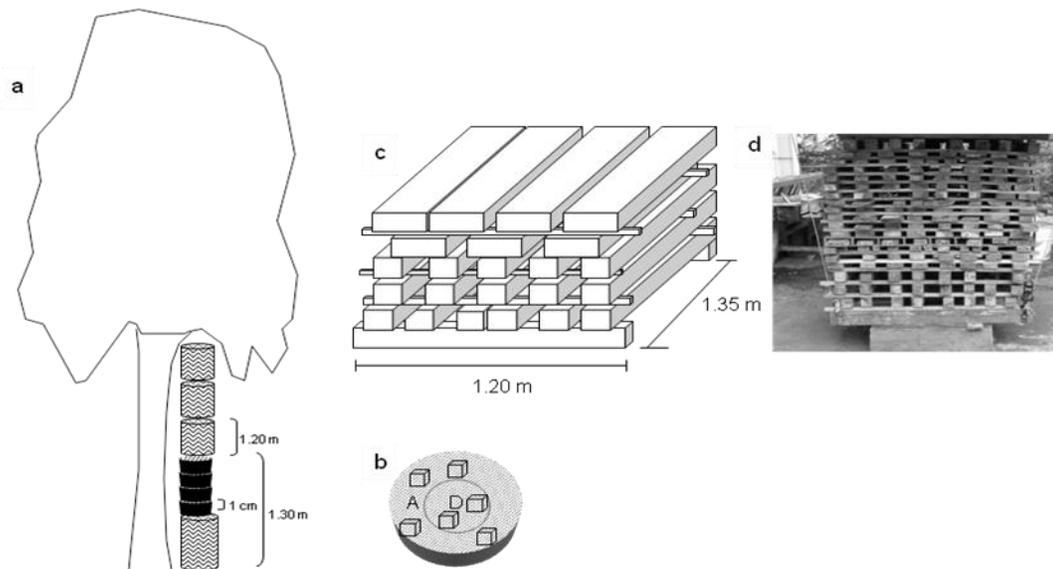


Figura 5. Material de estudio. a Trozas y rodajas b. cubos c. arreglo de prismas y tablas en la pila de secado al aire libre. d. vista frontal.

3.5.1 Macroscópicas

Para el estudio de las características macroscópicas, se obtuvieron dos rodajas de 1 cm de grosor cortadas a 1.26 m de altura (Figura 5), de las cuales se cortaron tablillas transversales de dimensiones 15 x 7 x 1 cm, del resto de la troza tablillas tangenciales y radiales de las mismas dimensiones. Las características macroscópicas que se determinaron fueron: olor, sabor, veteado, textura e hilo (Tortorelli, 1956), mientras que para el color se utilizaron las tablas de Munsell (1990). En las tablillas transversales se contaron anillos y ancho de los mismos.

3.5.2 Microscópicas

Para el estudio microscópico se cortaron dos rodajas a la altura de 1.28 m, de las que se obtuvieron cubos (Figura 5) que se ablandaron a ebullición en agua destilada por 24 hrs para *E. cyclocarpum* y 42 hrs para *H. polyandra*. De los cubos se obtuvieron cortes transversales, tangenciales y radiales de 20 μm de grosor en un microtomo de deslizamiento en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa. Los cortes se tiñeron con fucsina básica al 0.05% durante 30 segundos y después en azul astra al 0.5% durante dos minutos. Se deshidrataron en una serie gradual de alcoholes del 50, 70, 85, 96 y 100%. Después de deshidratados se les puso una gota de aceite de clavo por dos minutos para mayor contraste, posteriormente se colocaron en una mezcla de clavo con xilol, se pasaron por xilol y se montaron con resina sintética (Sandoval, 2005).

De los mismos cubos se cortaron pequeñas astillas para obtener material disociado con una mezcla de ácido acético, ácido láctico, ácido nítrico y glicerina, se tiñeron con Pardo de Bismarck y se montaron con gelatina glicerinada de acuerdo a Johansen (1940). A los cortes se les cuantificó el número de poros por milímetro cuadrado, diámetro tangencial de poros, número de radios por milímetro, altura de los radios, anchura de los vasos y el número de células; se realizaron 25 mediciones por carácter y por árbol, los que se sometieron a un análisis estadístico y se clasificaron con base en la media de acuerdo a Chattaway (1932) y a IAWA

Committee (1939, 1989). Los elementos no mensurables como son: tipo de porosidad, arreglo y agrupación de los vasos, tipo de perforación, puntuaciones, tipo de parénquima y contenidos, se describieron de acuerdo con IAWA Committee (1964,1989) y los cristales de acuerdo con Chattaway (1955).

Se obtuvieron cortes finos de las caras radiales de los cubos para anatomía y así obtener imágenes de las punteaduras de los elementos de vaso. Esto se realizó puliendo los planos de estas muestras en un criostato a -20° C marca Leica, posteriormente se recubrieron con una capa de oro y otra de carbono (Dashek y Mayfield, 2000) observándose en un microscopio electrónico de barrido EOL Modelo JSM-5800 de la Central de Microscopia de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, las muestras de *Enterolobium cyclocarpum* y en un EOL Modelo JSM-5900 de la Unidad de Microscopia de la UAM Iztapalapa las de *Hura polyandra*.

3.6 Propiedades tecnológicas de la madera

De los mismos árboles de los cuales se obtuvieron las rodajas para el estudio anatómico, se cortaron trozas de 1.20 m de longitud, las que se trasladaron a las instalaciones del Instituto de Ecología, A.C. en Xalapa, Ver. De dichas trozas se cortaron tablones tangenciales y radiales de 0.03 m x 0.12 m x 1.20 m y prismas de 0.06 m x 0.06 m x 1.20 m, para elaborar las probetas para los ensayos físicos y mecánicos basados en la norma ASTM (2005) (Figura 6).

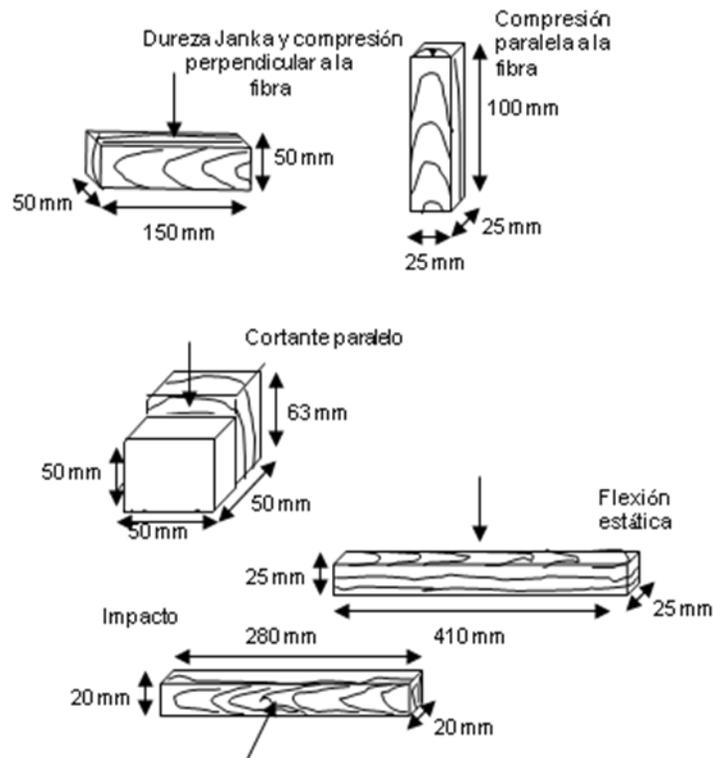


Figura 6. Probetas para pruebas mecánicas.

Después del proceso de secado al aire libre, las tablas y prismas se acondicionaron en una cámara con condiciones controladas hasta alcanzar un contenido de humedad cercano al 12 %.

3.6.1 Físicas

Las probetas para determinar la densidad básica midieron 5 x 5 x 2.5 cm y se obtuvieron de cada una de las probetas utilizadas para los ensayos mecánicos. De cada probeta se registró el peso y el volumen en estado verde (VV) basándose en el principio de Arquímedes (el volumen de un cuerpo es igual al peso del agua

desplazada), ya que el peso del agua desplazado equivale al volumen que se desea medir. Posteriormente la probeta se lleva a peso constante (anhidro) en una estufa a $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas o hasta que alcance un peso constante, la densidad se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$D_b = P_o / V_v$$

$$D_o = P_o / V_o$$

en donde:

P_o = peso anhidro en g

VV = volumen verde en cm^3

Las dimensiones de las probetas para las contracciones tangencial y radial fueron de $2.5 \times 2.5 \times 10$ cm, las probetas para la contracción volumétrica son $2.5 \times 2.5 \times 5$ cm. De todas ellas, se obtuvo el peso (P_v) y volumen (V_v) en estado verde, midiendo la longitud tangencial axial y radial, posteriormente se llevaron a peso constante (estado anhidro) en una estufa de secado a $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas o hasta que alcance un peso constante (anhidro) y se registró nuevamente el peso, volumen y las longitudes tangencial, axial y radial. Los valores de contracción se calcularon con las diferencias de lecturas en la condición verde y seca (anhidra) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CT = \frac{D_v - D_o}{D_v}$$

D_v = dimensión en condición verde en cm

D_0 = dimensión en condición anhidra en cm

La relación anisotrópica se obtuvo con la ecuación $A=CT/CR$ y el punto de saturación de la fibra de acuerdo a la recomendación de Echenique-Manrique *et al.* (1975), referencia a partir de la cual se clasificaron todas las propiedades físicas con base en la media.

3.6.2 Mecánicas

Las pruebas se hicieron en el Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera (LACITEMA) del Instituto de Ecología A. C. en una máquina universal de 25,000 kg. A cada propiedad se le hizo un análisis estadístico univariado. Se clasificaron de acuerdo con Dávalos y Bárcenas (1999).

3.6.2.1. Flexión estática

Las probetas para determinar la flexión estática midieron 41 x 2.5 x 2.5 cm

Su cálculo se realizó de acuerdo a las ecuaciones:

$$MOR = \frac{1.5P_{m\acute{a}x}L}{bh^2}$$

$$MOE = \frac{P_{LP}}{4\Delta_{LP}} \frac{L^3}{bh^3}$$

$$TLP = \frac{P_{LP}\Delta_{LP}}{2V}$$

MOR= esfuerzo de flexión en kg/cm^2

$P_{m\acute{a}x}$ = carga máxima en Kg

P_{LP} = carga en el límite proporcional en Kg

L = longitud del claro en cm

b = ancho en cm

h = grueso en cm

MOE = módulo de elasticidad en Kg/cm^2

Δ_{LP} = deformación en el límite proporcional en cm

TLP = trabajo en el límite proporcional en $\text{kg}\cdot\text{cm/cm}^3$

V = volumen de la probeta de flexión en cm^3

3.6.2.2 Compresión perpendicular a la fibra

Las probetas para su ensayo midieron 15 x 5 x 5 cm

Su cálculo se realizó de acuerdo a las ecuaciones:

$$F_{\perp} = \frac{P_{LP}}{5b}$$

F_{\perp} = esfuerzo en compresión perpendicular en kg/cm^2

B = ancho en cm

5 = ancho de placa en cm

P_{LP} = carga en el límite proporcional en kg

3.6.2.3 Compresión paralela a la fibra

Las probetas utilizadas midieron 10 x 2.5 x 2.5 cm

Las fórmulas utilizadas para su cálculo:

$$EMAX = \frac{P_{\max}}{bh}$$

$$MOE = \frac{P_{LP}L}{bh\Delta_{LP}}$$

EMAX= esfuerzo máximo en compresión paralela en kg/cm²

P_{máx} = carga máxima en kg

P_{LP}= carga en el límite proporcional en kg

B = ancho en cm

H = grueso en cm

MOE = módulo de elasticidad en kg/cm²

L = longitud de medición (15 cm)

Δ_{LP}= deformación en el límite proporcional en cm

3.6.2.4 Cortante paralelo a la fibra

Las probetas utilizadas midieron: 6.3 x 5 x 5 x 5 cm

F_v= esfuerzo máximo en cortante paralelo a la fibra en Kg/cm²

P_v= carga máxima en kg

B= ancho en cm

H = grueso en cm

3.6.2.5 Dureza Janka

Las probetas para determinarla midieron: 5 x 5 x 15 cm. Se utilizó la misma probeta que se emplea para la prueba de compresión perpendicular. En la superficie transversal y tangencial de la probeta se introduce a presión una semiesfera de metal de 12.7 mm (1/2" de diámetro). Se obtienen los promedios por cada pareja de datos. El valor que se determina es la carga o fuerza expresada en kilogramos necesaria para hacer que penetre completamente la semiesfera. Se obtienen los promedios por cada pareja de datos. La dureza de una madera está indicada por el valor de la carga dada en kg. Al promedio de las cuatro lecturas sobre las dos caras tangenciales y las dos radiales se le llama dureza lateral, al promedio de la lectura de las dos transversales se le denomina dureza en los extremos.

4.6.2.6 Impacto

Las probetas midieron 28 x 20 x 20 cm y las pruebas se realizaron en una máquina para ensayos de tenacidad modelo FPL.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$T = M (\cos \phi - \cos \phi)$$

T = tenacidad

M = momento del péndulo alrededor del eje de rotación

ϕ = ángulo final del péndulo

ϕ = ángulo inicial del péndulo

4.6.3 Secado

Para el secado al aire libre a un contenido de humedad del 16%, que es el promedio del obtenido en las condiciones de humedad relativa y temperatura del ambiente en la Región Centro del Golfo de México, para el período de elaboración de las probetas, se acomodaron los tablones y los prismas en una pila elevada sobre el piso de 135 cm de largo x 120 cm de ancho x 150 cm de altura, con separadores entre las capas de madera permitiendo la circulación libre del aire en torno a cada una y se cubrieron para evitar que estuvieran directamente expuestas al sol y a la lluvia (Figura 5). La clasificación se realizó de acuerdo con Sotomayor (1987).

4 RESULTADOS

4.1 Fenología

Ambas especies tienen ciclos fenológicos anuales, presentan asincronía en la ocurrencia de sus respectivos eventos (Figura 7).

Años	2010					2011					2012			
Eventos/Meses	M	M	J	S	N	E	M	M	J	S	N	E	A	J
Caída de hojas	■			■	■	■				■	■	■		
		■			■	■	■					■	■	
Floración	■	■				■						■		
		■	■					■	■				■	■
Fructificación	■	■					■						■	
		■	■					■	■	■			■	■
Brote de hojas	■	■	■	■				■	■	■		■	■	■
				■	■	■	■		■	■	■	■		
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>				■										
<i>Hura polyandra</i>				■										

Figura 7. Calendario fenológico para ambas especies.

Al iniciar las observaciones de *Enterolobium cyclocarpum* en marzo de 2010 se evaluó su caída de hojas, mientras que para los dos años siguientes el suceso inició y terminó en los correspondientes meses de septiembre y enero respectivamente (Figuras 8 y 10) (Cuadro 2), con una mínima asociación con la variable lluvia aún cuando hay presencia de precipitación en septiembre y correlaciones negativas aunque no significativas con la temperatura (Cuadro 3). Se detectaron descensos nocturnos de hasta quince grados Celsius (Obs. Personal Elizandro Pineda) en las visitas de los últimos trimestres y primer mes de los años evaluados.

La floración abarcó de marzo a mayo de 2010 y el mes de enero para los años siguientes, siendo este último mes el que presentó los mayores picos para el citado evento, hubo correlaciones negativas con la precipitación y la temperatura aunque no significativas. La fructificación se presentó de marzo a mayo del 2010, marzo del 2011 y abril del 2012 la precipitación se correlacionó negativamente y de forma positiva la temperatura sin tener ambas significancia estadística. El brote de hojas se observó en los meses de marzo a septiembre de 2010, mayo a septiembre de 2011 y de enero hasta el mes de julio de 2012, última observación. Se correlacionó significativamente con la temperatura y tuvo menores correlaciones positivas con la precipitación (Figuras 8 y 10) (Cuadros 2 y 3).



Figura 8. Eventos fenológicos de *Enterolobium cyclocarpum*.

La caída de hojas se observó en la primera visita (mayo 2010) al sitio “Chilcahuite” de *Hura polyandra*, donde la mayoría de los individuos carecían de hojas en más de un 90%, de noviembre de 2010 a mayo de 2011 se repitió el evento y de enero a abril de 2012 (Figuras 9 y 11). La correlación de esta fenofase con el clima fue negativa y significativa con la precipitación ($p < 0.05$) y sin correlación con la temperatura (Figura 7) (Cuadros 2 y 3). La floración abarcó los meses de mayo a julio en los dos primeros años de evaluación y se observó con más prontitud para el año 2012 al presentarse en abril y hasta julio del mismo año; las correlaciones con este evento mostraron su asociación positiva con la temperatura que fue significativa ($p < 0.01$) y negativa con la precipitación (Figura 11) (Cuadro 3).

La fructificación se presentó de mayo a julio de 2010, mayo a septiembre de 2011 y abril a julio de 2012, asociándose al inicio de las lluvias y a la temperatura de finales de primavera e inicios de verano y correlacionándose positivamente con la precipitación y con la temperatura. Los mayores picos de brote de hojas (Figura 11) coincidieron con los meses de mayor precipitación, asociándose de forma positiva con esta variable y de forma negativa con la temperatura; ambas correlaciones no fueron significativas (Cuadro 3).



Figura 9. Eventos fenológicos de *Hura polyandra*.

Cuadro 2. Valores de eventos fenológicos en ambas especies.

Meses	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>				<i>Hura polyandra</i>			
	A	B	C	D	A	B	C	D
marzo-10	1.73	0.87	2.00	2.33	-	-	-	-
mayo-10	0.60	0.00	1.00	3.67	3.75	3.13	0.25	0.13
julio-10	0.73	0.00	0.07	3.60	0.63	0.44	2.31	0.56
septiembre-10	1.40	0.00	0.20	2.40	0.31	0.06	0.00	3.63
noviembre-10	3.73	0.00	0.87	0.13	1.31	0.00	0.00	3.88
enero-11	2.00	1.73	0.00	1.40	1.94	0.00	0.19	1.81
marzo-11	0.33	0.00	0.40	3.67	3.25	0.00	0.19	0.25
mayo-11	0.07	0.00	0.00	2.93	3.50	3.38	0.13	0.13
julio-11	0.67	0.00	0.00	2.53	0.13	0.25	0.25	3.75
septiembre-11	1.33	0.00	0.00	2.87	0.19	0.00	2.81	2.56
noviembre-11	3.67	0.00	0.53	0.33	0.13	0.00	0.06	2.69
enero-12	0.47	2.40	1.87	1.73	1.44	0.00	0.38	1.50
abril-12	0.67	0.00	0.53	3.67	3.56	0.13	0.19	0.25
julio-12	0.47	0.00	0.07	3.47	0.50	0.44	2.19	0.56

A. caída de hojas. B. floración. C. fructificación. D. brote de hojas

Cuadro 3. Coeficientes de correlación (Pearson) entre elementos del clima y eventos fenológicos en ambas especies.

Especie	Variable	Caída de Hojas	Floración	Fructificación	Brote de Hojas
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Precipitación	-0.0766	-0.2271	-0.3902	0.1418
	Temperatura	-0.3700	-0.2239	0.2420	0.6797**
<i>Hura polyandra</i>	Precipitación	-0.6317*	-0.2370	0.4254	0.4830
	Temperatura	0.0452	0.7391**	0.2309	-0.2795

**p<0.01 *p<0.05

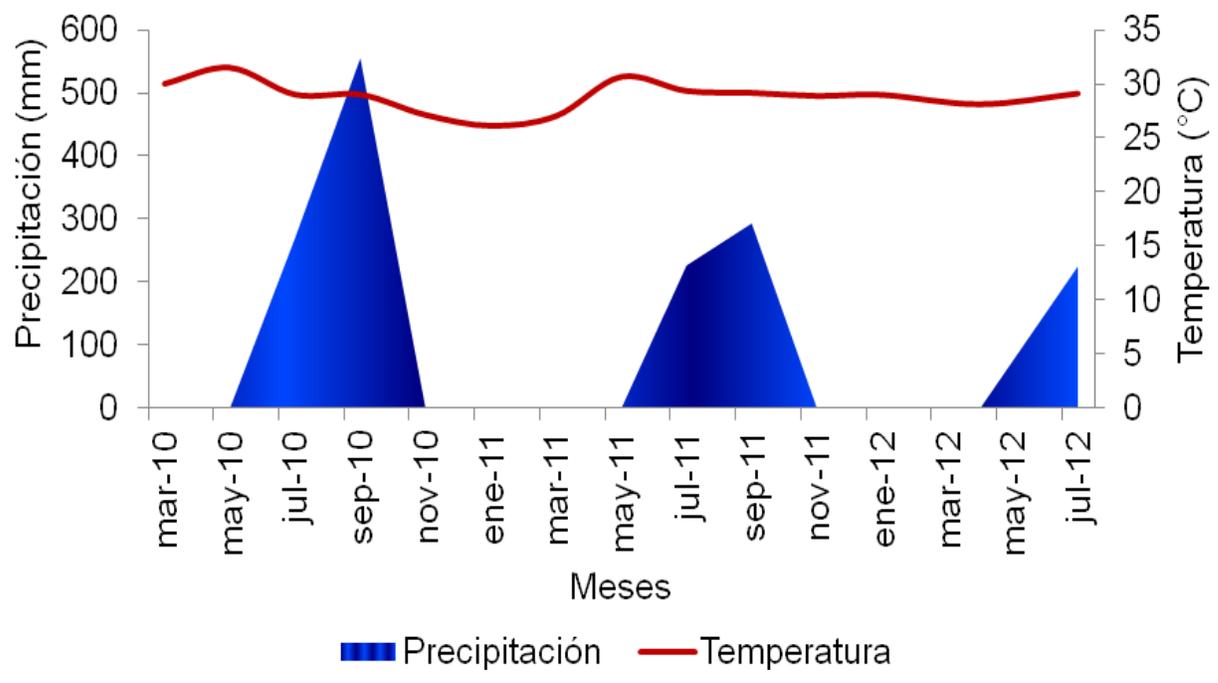
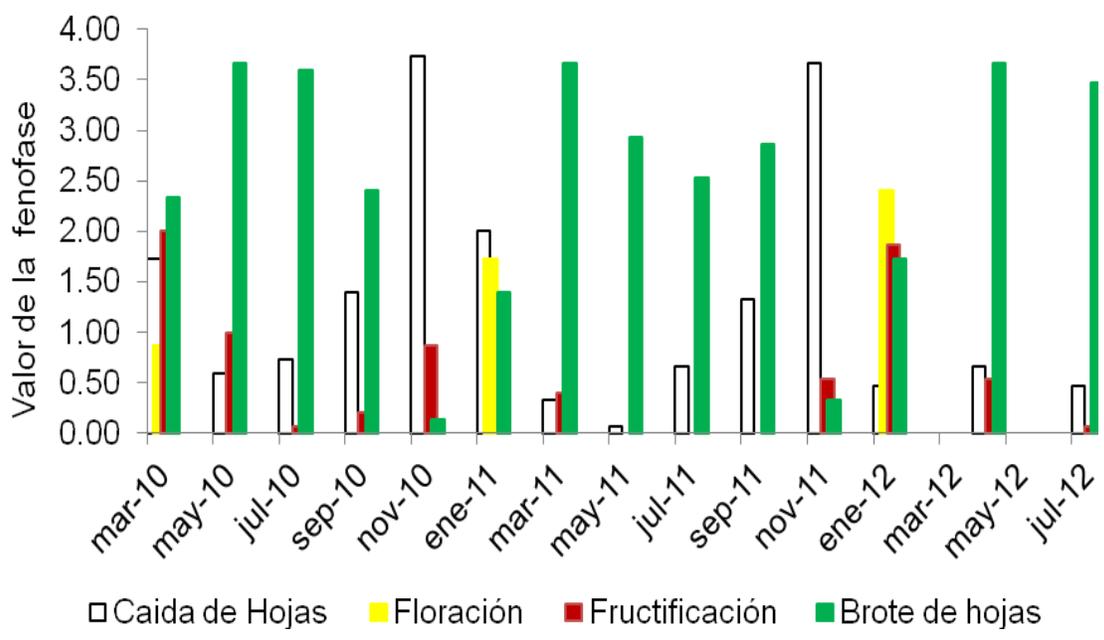


Figura 10. Dendrofenograma de *Enterolobium cyclocarpum*.

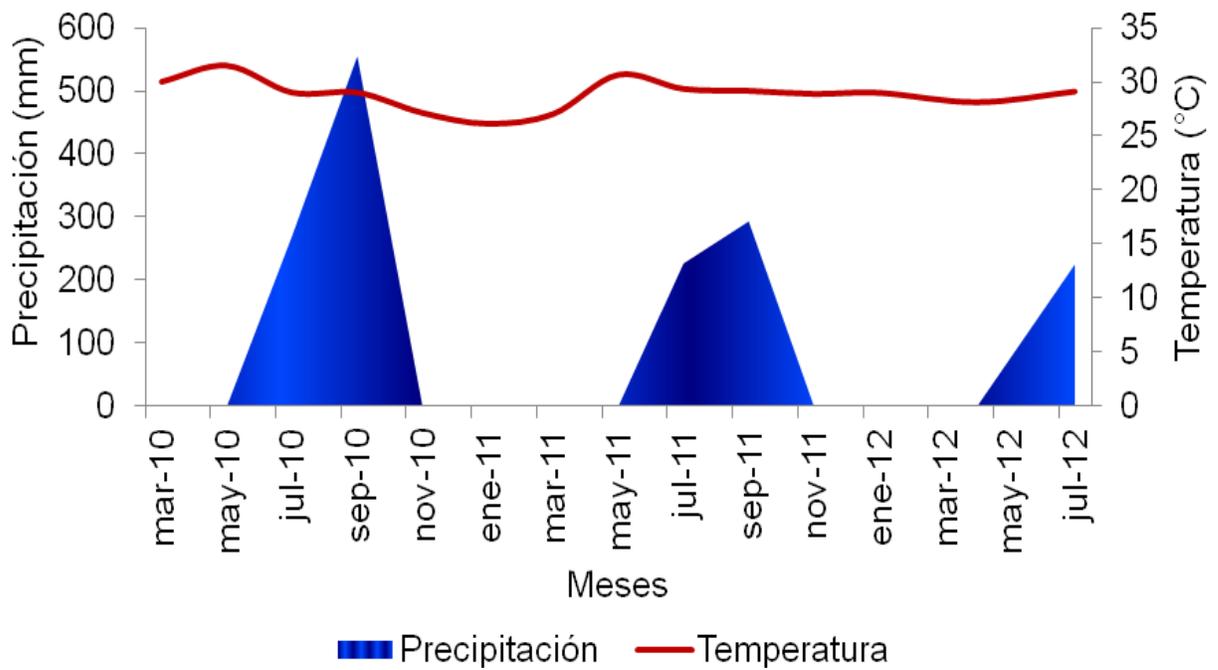
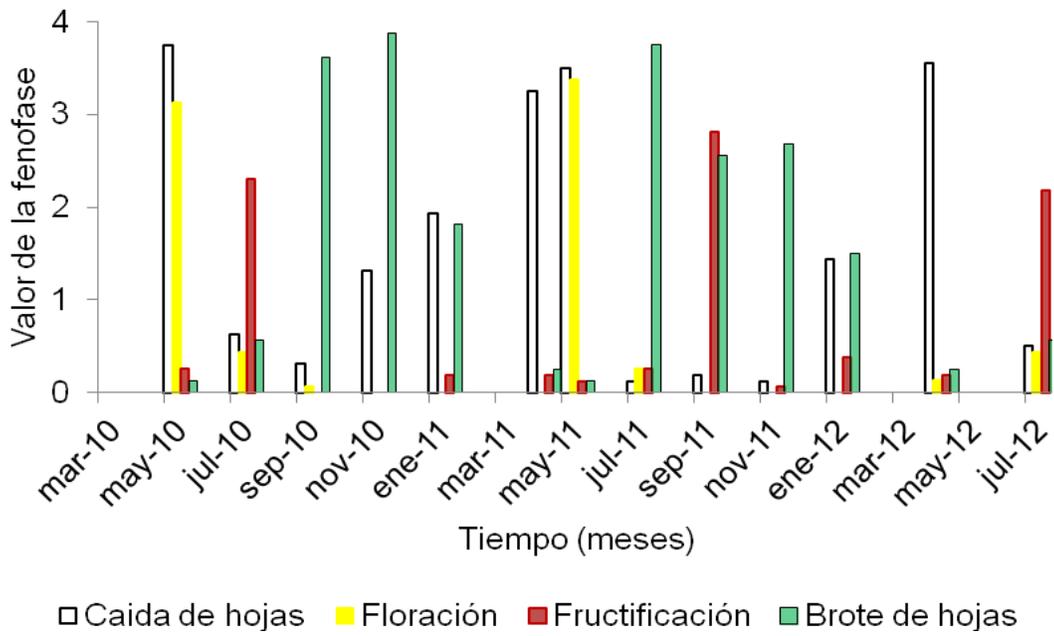


Figura 11. Dendrofenograma de *Hura polyandra*.

4.2 Crecimiento en diámetro y periodicidad

4.2.1 Crecimiento en diámetro

En *Enterolobium cyclocarpum* los valores de r^2 fueron aceptables (Figura 12), con valores máximos de 1.27 cm para el periodo de medición (Marzo 2010-Julio-2012), los momentos de mayor incremento se presentaron alrededor de los meses de junio-octubre.

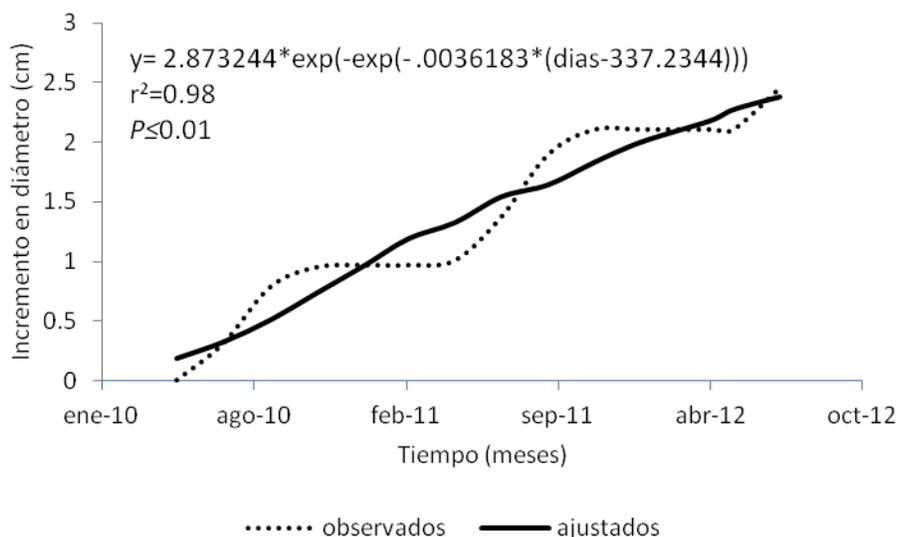


Figura 12. Crecimiento de todos los árboles de *Enterolobium cyclocarpum*.

Las comparaciones entre categorías diamétricas muestran que todas las categorías crecen de forma distinta en las tres funciones, principalmente el parámetro de biomasa y tiempo determinan estas diferencias. Las categorías 5, 10 y 15 crecieron menos que las de 20, 25 y 30 con incrementos máximos de hasta 1.41 3 cm/año en estas últimas (Figuras 13 y 14) (Cuadros 4 y 5).

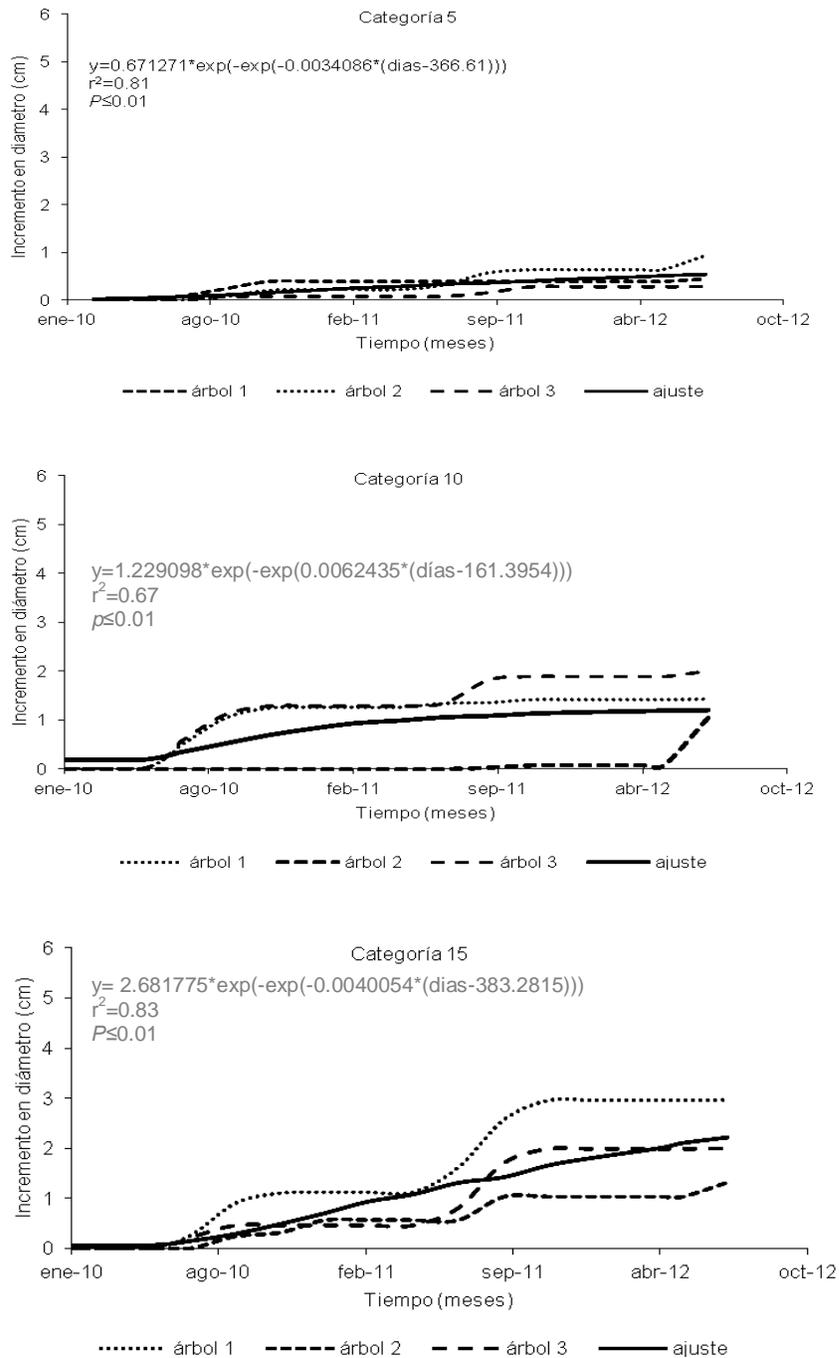


Figura 13. Crecimiento en diámetro para las categorías diamétricas de 5, 10 Y 15 cm de *Enterolobium cyclocarpum*.

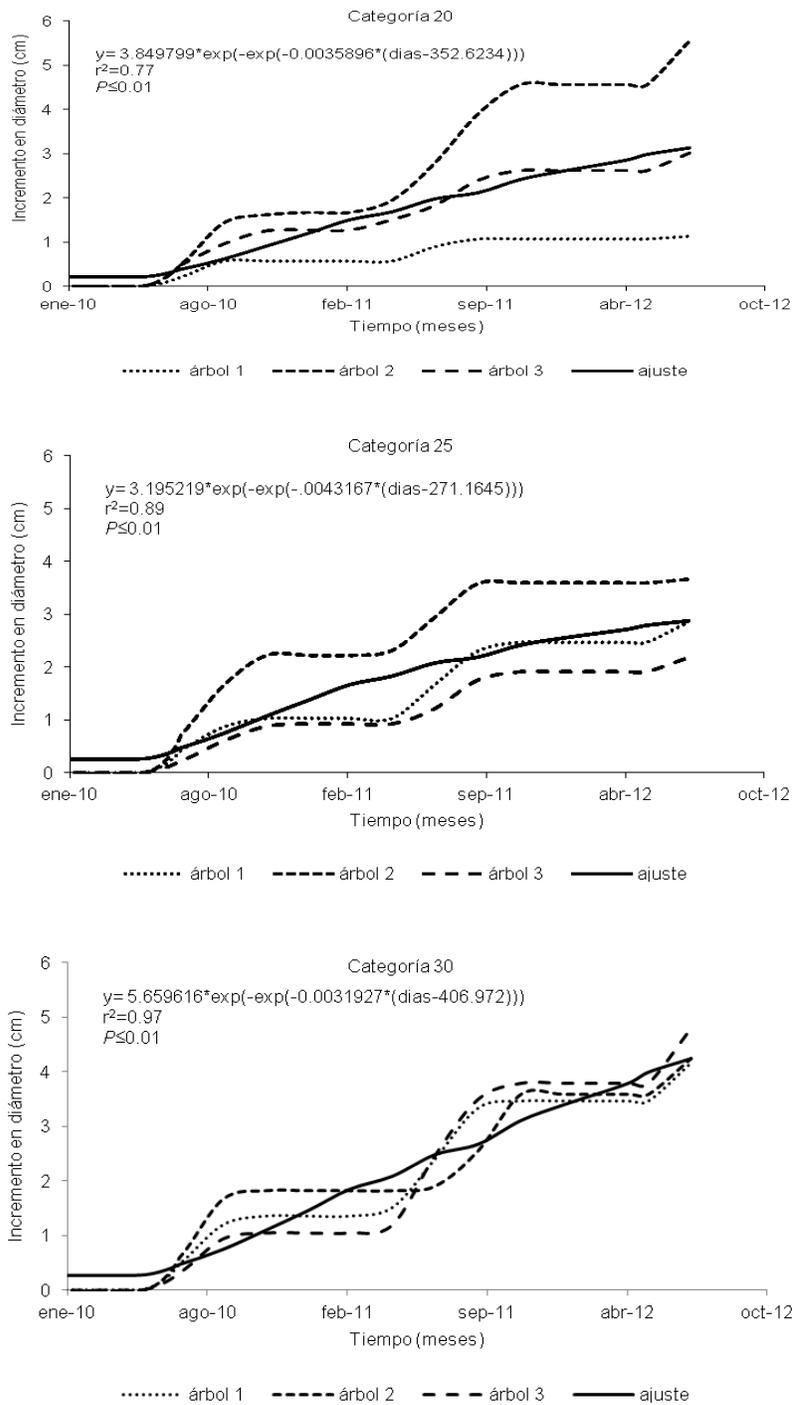


Figura 14. Crecimiento de las categorías diamétricas de 20, 25 y 30 cm de *Enterolobium cyclocarpum*.

Cuadro 4. Crecimiento promedio anual de categorías diamétricas de *Enterolobium cyclocarpum*.

Categoría diamétrica	Número de árboles	Crecimiento promedio anual (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
5	3	0.02	0.12	0.23	0.11
10	3	0.34	0.51	0.85	0.39
15	3	0.15	0.54	0.72	0.33
20	3	0.38	0.69	1.17	0.54
25	3	0.45	0.81	1.41	0.64
30	3	0.46	1.05	1.41	0.67

Cuadro 5. Prueba de la T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de categorías diamétricas de *Enterolobium cyclocarpum*

Interacciones entre categorías		T^2 teórica	T^2 calculada	Valores de F para		
				W	g	t
5	10	12.33	2234.25	37.00**	5.13**	25.63**
	15	12.33	948.04	82.93**	0.67	0.14
	20	12.33	614.14	63.14**	0.05	0.07
	25	12.33	2756.09	255.41**	1.92	6.10**
	30	12.33	1941.57	416.34**	0.16	1.07
10	15	12.33	172.05	43.63**	3.17	49.87**
	20	12.33	154.44	43.02**	4.25	22.13**
	25	12.33	715.42	157.40**	2.50	20.66**
	30	12.33	1105.15	330.54**	6.94	98.82
15	20	12.33	379.56	6.82**	0.28	0.49
	25	12.33	1025.25	4.06**	0.21	15.00
	30	12.33	1573.32	88.92**	2.18	0.64
20	25	12.33	18.25	2.43	1.02	4.41**
	30	12.33	381.29	15.52**	0.41	1.93
25	30	12.33	424.48	79.99**	6.23**	40.01**

** $p < 0.01$

Las simetrías de copa de *Enterolobium cyclocarpum* mostraron que los árboles con copa simétrica crecen más que aquellas con copa parcialmente simétrica y aquellas de tipo asimétrico. Los árboles con copas iluminadas parcialmente crecieron más que aquellas con copas sin iluminar e iluminadas totalmente (Figuras 15 y 16) (Cuadros 6-9).

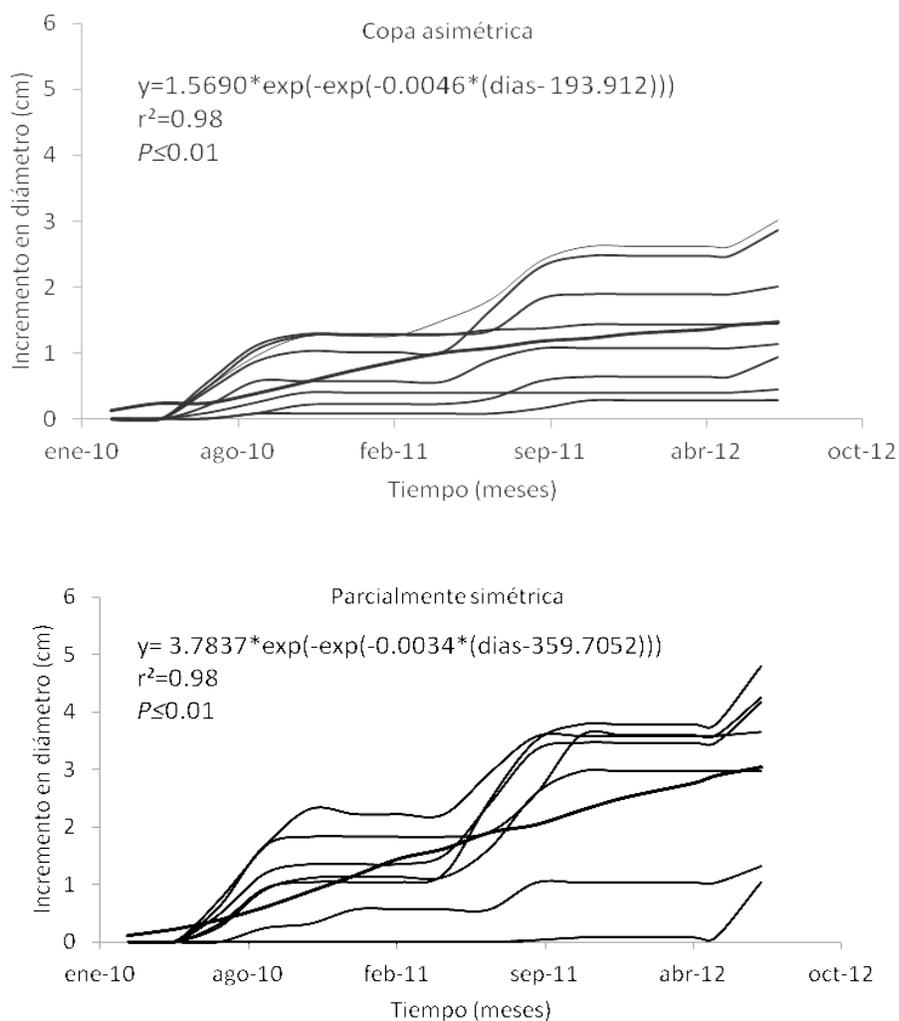


Figura15. Crecimiento de árboles de *Enterolobium cyclocarpum* con copas asimétricas y parcialmente simétricas.

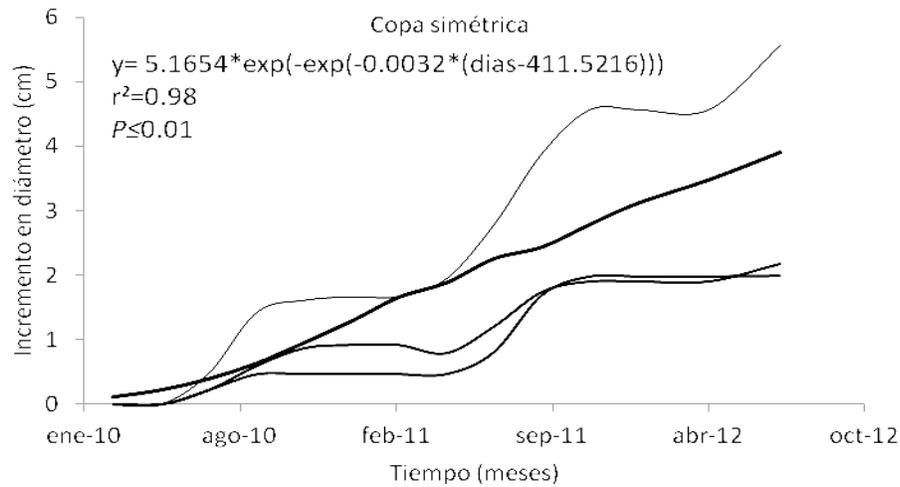


Figura 16. Crecimiento de árboles de *Enterolobium cyclocarpum* con copas totalmente simétricas.

Cuadro 6. Crecimiento promedio anual de simetrías de copas de *Enterolobium cyclocarpum*.

Simetría	Número de árboles	Crecimiento promedio anual (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
1	8	0.27	0.39	0.67	0.23
2	7	0.34	0.69	1.32	0.48
3	3	0.3	0.68	1.41	0.52

Cuadro 7. Prueba de T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de simetrías de copa de *Enterolobium cyclocarpum*.

Simetría	T^2 teórica	T^2 calculada	Valores de F para		
			W	g	t
1 y 2	11.71	1147.60	165.73**	5.61**	38.14**
1 y 3	11.86	460.95	84.57**	2.13	31.79**
2 y 3	11.91	25.75	0.80	0.01*	1.32

** $p < 0.01$ * $p < 0.05$

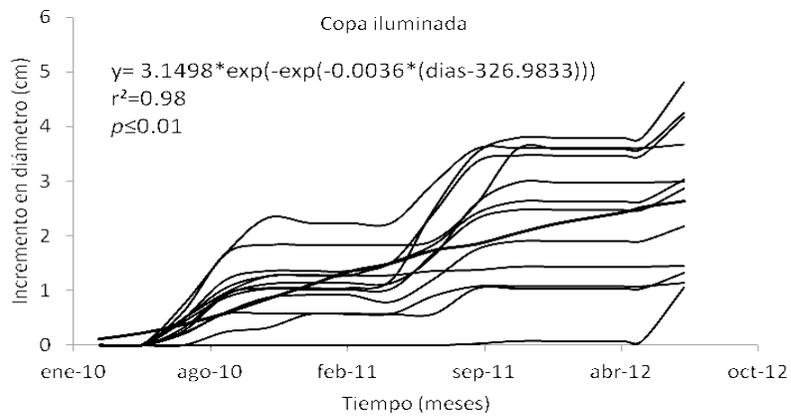
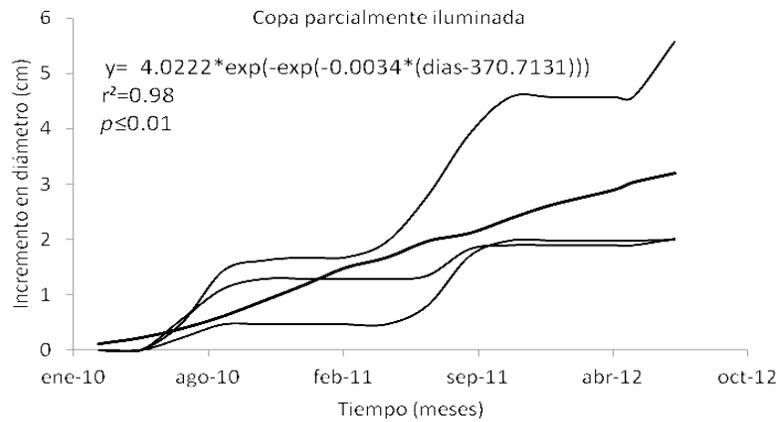
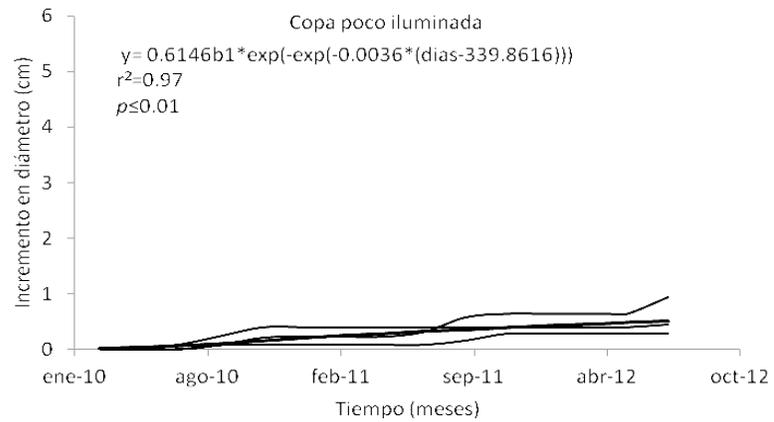


Figura 18. Crecimiento de árboles de *Enterolobium cyclocarpum* con copas poco, parcial y totalmente iluminadas.

Cuadro 8. Crecimiento promedio anual de iluminación de copas de *Enterolobium cyclocarpum*.

Iluminación	Número de árboles	Crecimiento promedio anual (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
1	3	0.02	0.11	0.22	0.08
2	3	0.41	0.71	1.40	0.51
3	12	0.34	0.62	1.16	0.42

Cuadro 9. Prueba de la T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de iluminación de copas de *Enterolobium cyclocarpum*

Iluminación	T^2 teórica	T^2 calculada	Valores de F para		
			W	g	t
1 y 2	12.33	403.46	21.26**	0.13	0.06
1 y 3	11.71	1969.33	51.55**	0.009	1.93
2 y 3	11.71	243.93	12.34**	0.44	3.32

** $p < 0.01$

En *Hura polyandra* el ajuste presentó un r^2 aceptable y máximo incremento de hasta 1.3 cm para el periodo de medición (Mayo 2010-Julio 2012), los momentos de mayor crecimiento ocurrieron en los meses de Julio-Septiembre (Figura 19). Las comparaciones entre categorías diamétricas de *Hura polyandra* muestran diferencias significativas ($p < 0.01$) entre parámetros, el incremento entre categorías fue mayor en las de 10, 15, 5 que aquellas de 20, 25 y 30 (Figuras 20, 21 y 22) (Cuadros 10 y 11).

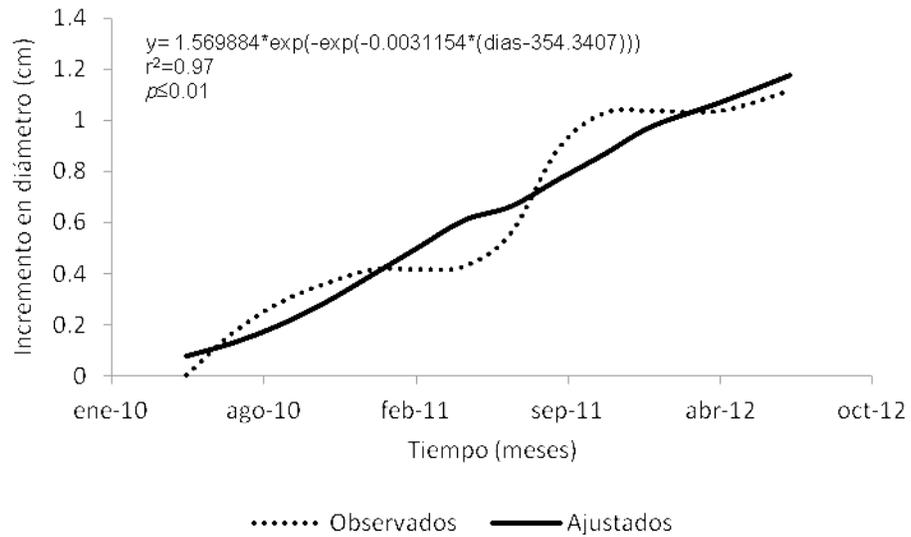


Figura 19. Crecimiento en diámetro de todos los árboles de *Hura polyandra*.

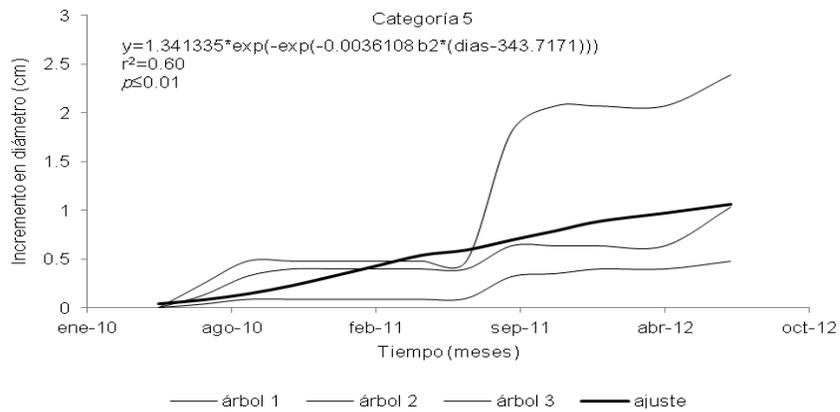


Figura 20. Crecimiento en diámetro para las categorías diamétricas de 5 cm de *Hura polyandra*.

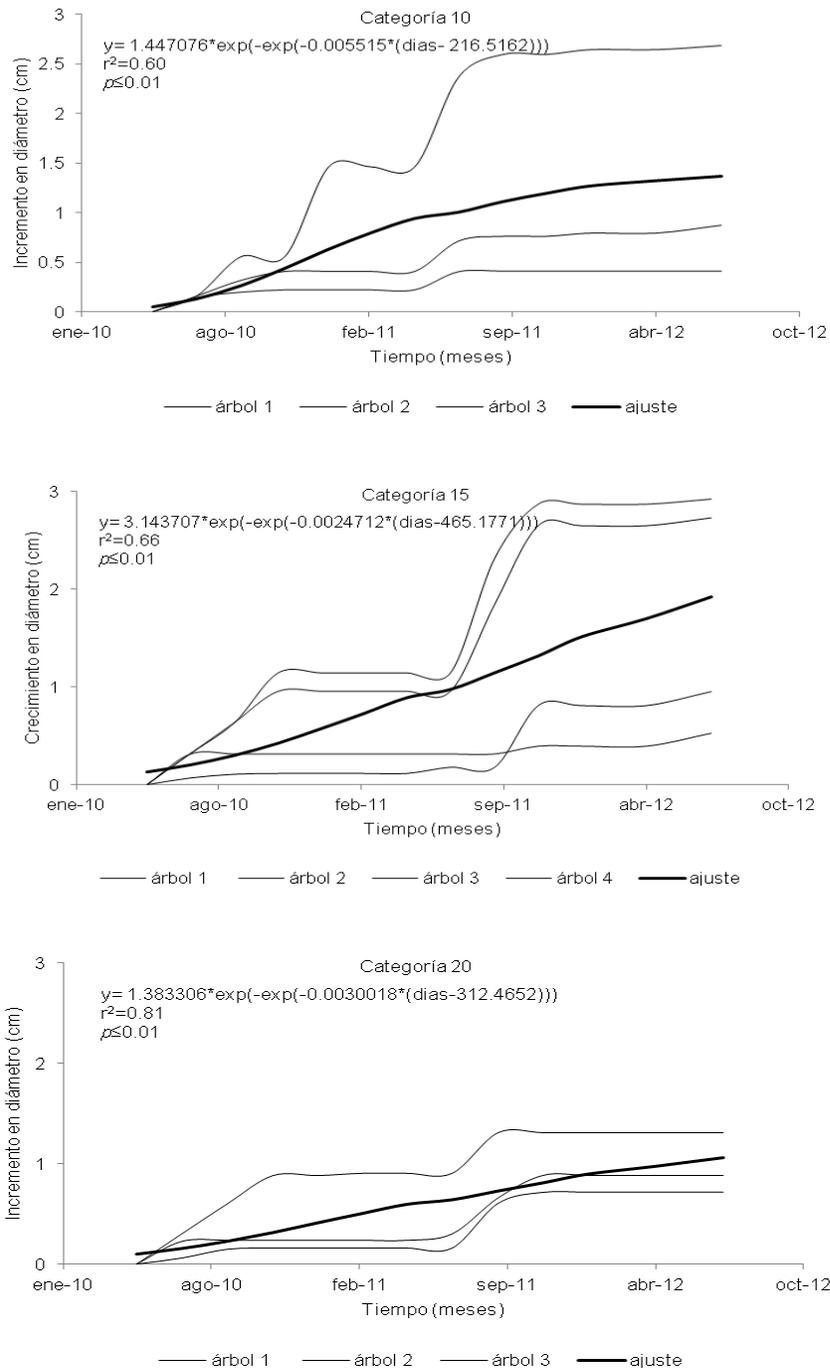


Figura 21. Crecimiento en diámetro para las categorías diamétricas de 10, 15 y 20 cm de *Hura polyandra*.

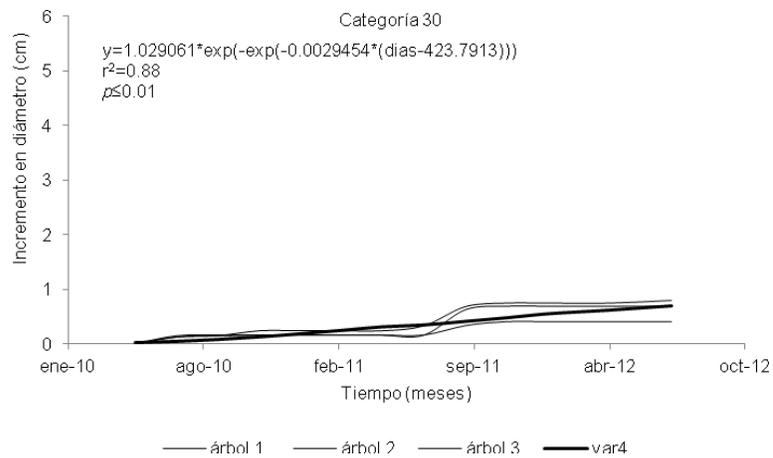
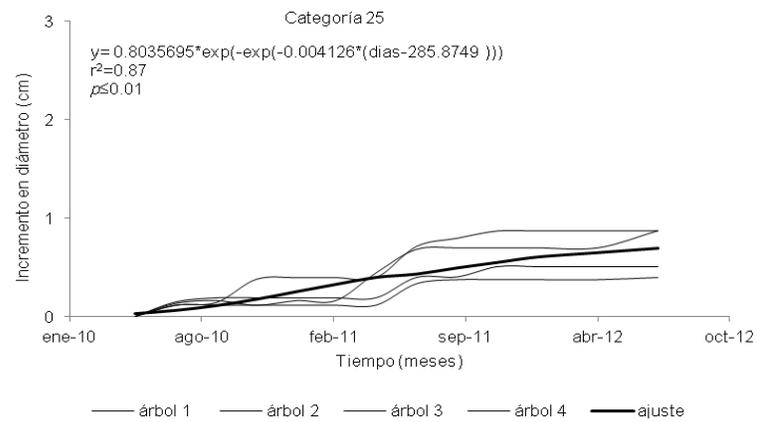


Figura 22. Crecimiento en diámetro para las categorías diamétricas de 25 y 30 cm de *Hura polyandra*

Cuadro 10. Crecimiento promedio anual de categorías diamétricas de *Hura polyandra*.

Categoría diamétrica	Número de árboles	Crecimiento promedio anual (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
5	3	0.13	0.24	0.32	0.12
10	3	0.15	0.42	0.69	0.28
15	4	0.25	0.45	0.63	0.24
20	3	0.19	0.32	0.43	0.16
25	4	0.12	0.17	0.28	0.09
30	3	0.13	0.14	0.18	0.06

Cuadro 11. Prueba de T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de categorías diamétricas de *Hura polyandra*.

Interacciones entre categorías		T^2 teórica	T^2 calculada	Valores de F para		
				W	g	t
5	10	12.50	178.17	1.03	4.98**	3.17
	15	12.32	194.95	0.08	0.10*	0.40
	20	12.50	31.75	1.13	0.75*	1.73
	25	12.32	29.80	3.16	6.01**	2.90
	30	12.50	97.21	1.82	0.78*	0.67
10	15	12.32	19.90	3.96	5.59**	4.14**
	20	12.50	190.99	0.08	3.24*	2.67
	25	12.32	974.29	27.18**	1.36	5.32**
	30	12.50	1124.46	5.34**	3.65	14.63**
15	20	12.32	61.17	4.20**	0.42	1.42
	25	12.19	407.83	10.27**	5.92*	2.93
	30	12.32	352.33	6.17**	0.40	0.10
20	25	12.32	423.55	12.48**	3.04	0.30
	30	12.50	678.64	2.59	0.006	2.54
25	30	12.32	123.17	3.75	4.52	9.62**

** $p < 0.01$ * $p < 0.05$

Las simetrías de copa de *Hura polyandra* mostraron que los árboles con copa parcialmente simétrica crecieron ligeramente más que los de copa totalmente simétrica. Los árboles mejor iluminados presentaron una mayor tasa que los parcialmente iluminados (Figuras 23-25) (Cuadros 12-15).

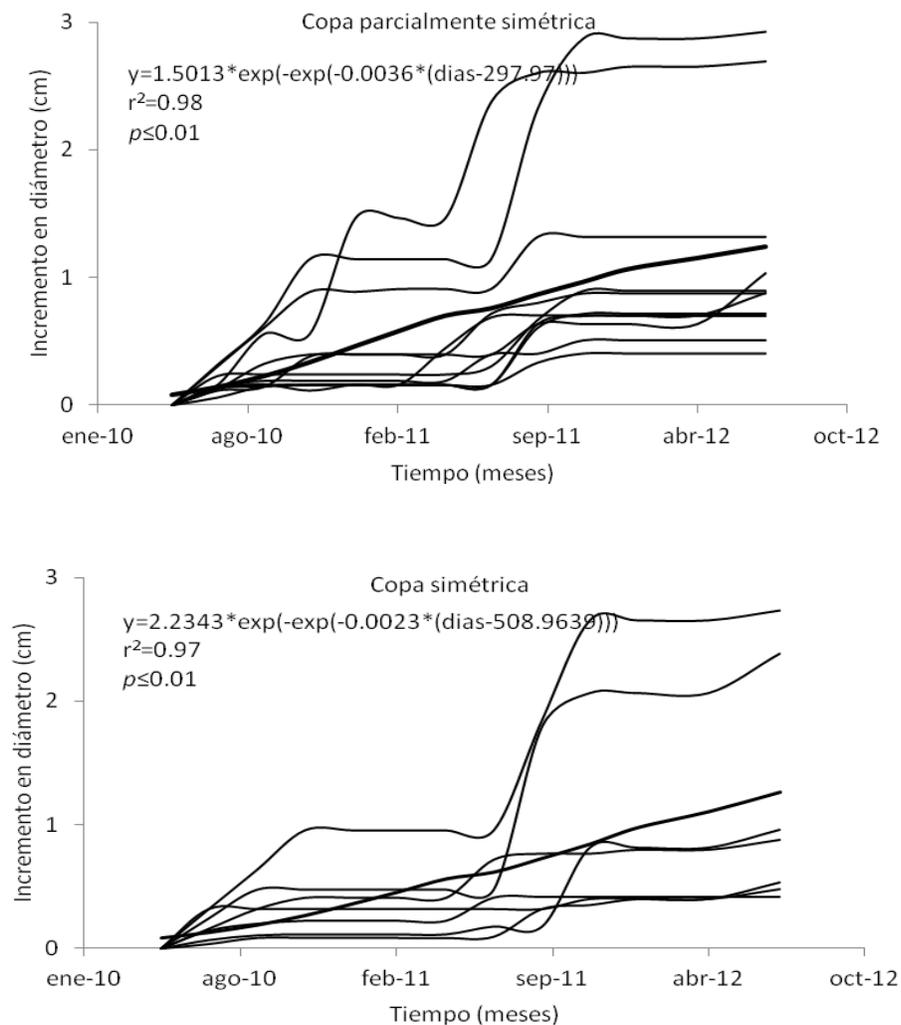


Figura 23. Crecimiento de árboles de *Hura polyandra* con copas parcial y totalmente simétricas.

Cuadro 12. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de simetrías de copas de *Hura polyandra*.

Simetría	Número de árboles	Crecimiento promedio anual (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
2	14	0.16	0.30	0.55	0.19
3	7	0.18	0.26	0.53	0.18

Cuadro 13. Prueba de la T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de simetrías de copas de *Hura polyandra*

Interacciones	T^2 teórica	T^2 calculada	Valores de F para		
			W	g	t
Simetría 2 y 3	11.70	178.88	5.31**	8.95	10.14**

** $p < 0.01$

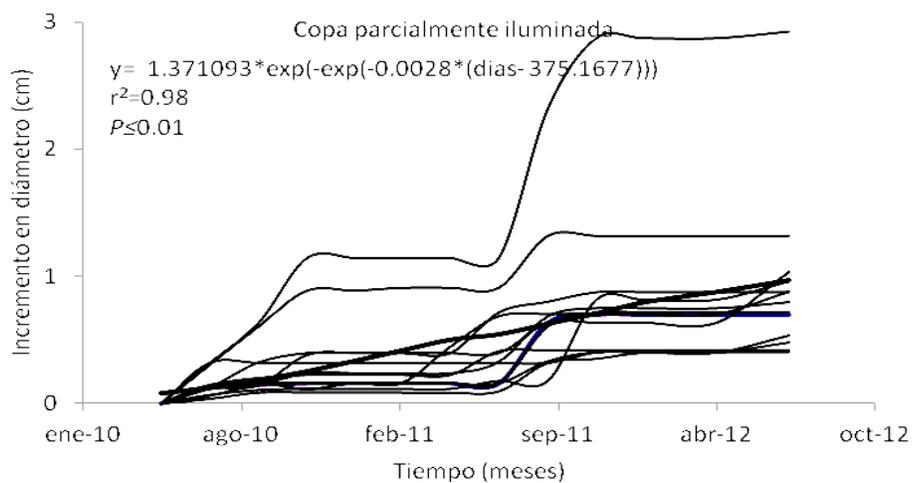


Figura 24. Crecimiento de árboles de *Hura polyandra* con copas parcialmente iluminadas.

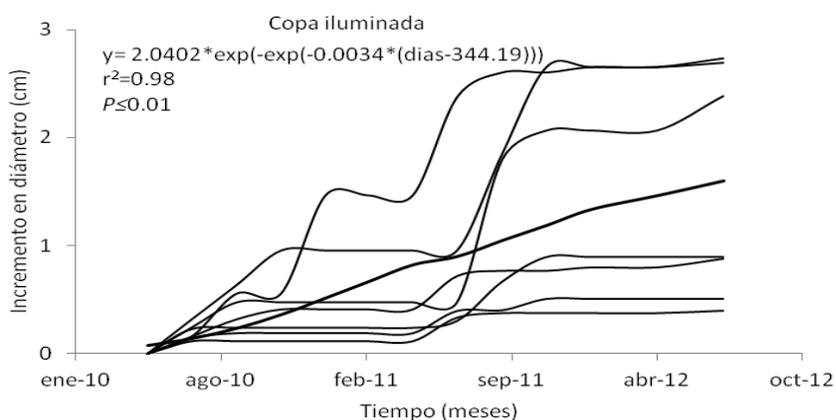


Figura 25. Crecimiento de árboles de *Hura polyandra* con copas totalmente iluminadas

Cuadro 14. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de iluminación de copas de *Hura polyandra*.

Iluminación	Número de árboles	Crecimiento promedio anual (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
2	13	0.15	0.22	0.42	0.14
3	8	0.19	0.36	0.70	0.25

Cuadro 15. Prueba de la T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la FCG de iluminación de copas de *Hura polyandra*.

Iluminación	T^2 teórica	T^2 calculada	Valores de F para		
			W	g	t
2 y 3	11.66	1432.57	15.16**	2.42	0.74

** $p < 0.01$

4.2.2 Periodicidad

Los anillos de las ambas especies fueron anuales y conspicuos delimitados por una banda de células de fibras (Figuras 26 y 27).

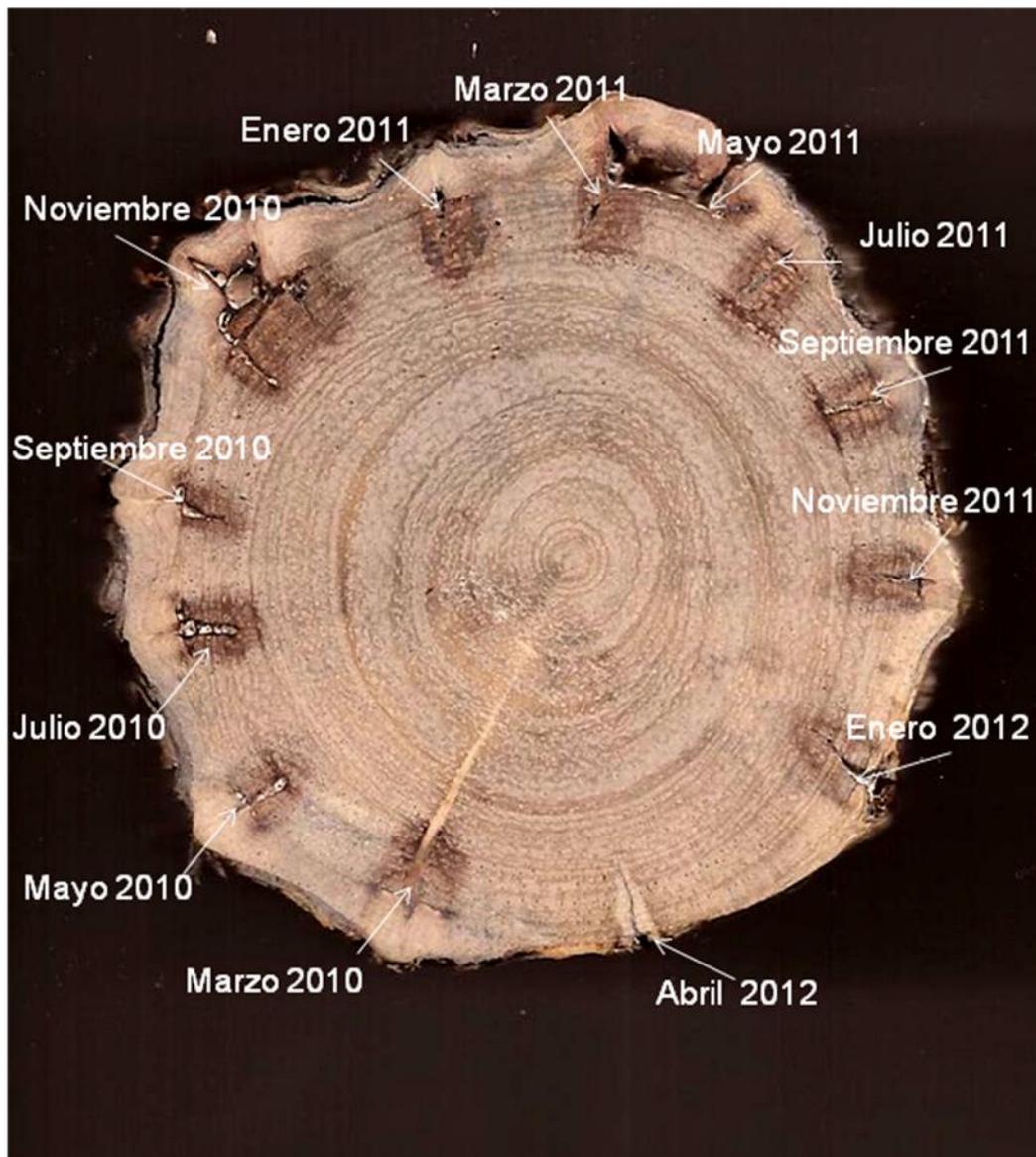


Figura 26. Heridas al cambium en *Enterolobium cyclocarpum*.

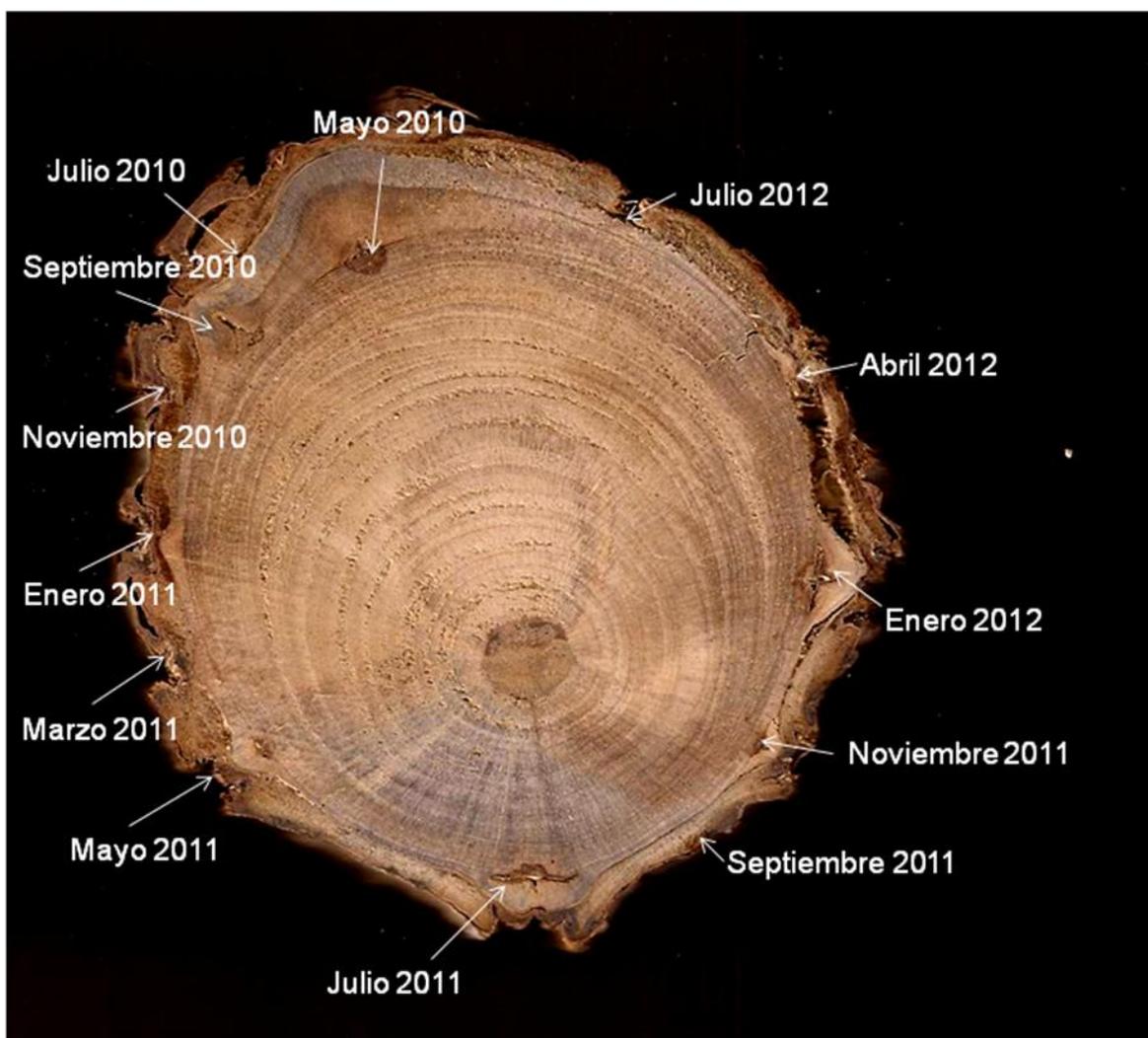


Figura 27. Heridas al cambium en *Hura polyandra*.

4.3 Características anatómicas de la madera

4.3.1 Macroscópicas

La madera de *Enterolobium cyclocarpum* presenta diferencia de color entre albura y duramen, la albura es blanca (HUE 2.5Y8/2) y el duramen es castaño claro (HUE 7.5YR 6/4), sin olor ni sabor característicos, brillo mediano, veteado suave, textura fina e hilo oblicuo. Anillos de crecimiento conspicuos (Lámina 3. Figuras a-c). La

madera de *Hura polyandra* presenta diferencia de color entre albura y duramen, la albura es blanca (HUE 2.5Y 8/2) y el duramen es castaño claro (HUE7.5YR 6/3), sin olor ni sabor característicos, brillo mediano, veteado suave, textura fina e hilo recto. Anillos de crecimiento conspicuos (Lámina 4. Figuras a-c).

4.3.2 Microscópicas

Microscópicamente la madera de *Enterolobium cyclocarpum* es de porosidad difusa, los poros son muy pocos, de diámetro tangencial mediano, la mayoría solitarios, algunos múltiples de 2 a 4. Los elementos vasculares son muy cortos, sus paredes tienen puntuaciones areoladas alternas, ovales, ornamentadas y platina de perforación simple (Figura 29). Algunos presentan gomas. El parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico, de 6 a 15 células de anchura. Algunas células parenquimáticas presentan cristales prismáticos dentro de cámaras. Los radios son homogéneos, uniseriados, pocos, extremadamente bajos y extremadamente finos. Las fibras son de longitud mediana, diámetro fino y pared delgada (Figura 28). Los anillos de crecimiento miden desde 10 hasta 25 mm de ancho, marcados por 2 a 4 hileras de fibras (Lámina 3. Figuras d-i, Figura a, Cuadro 16).

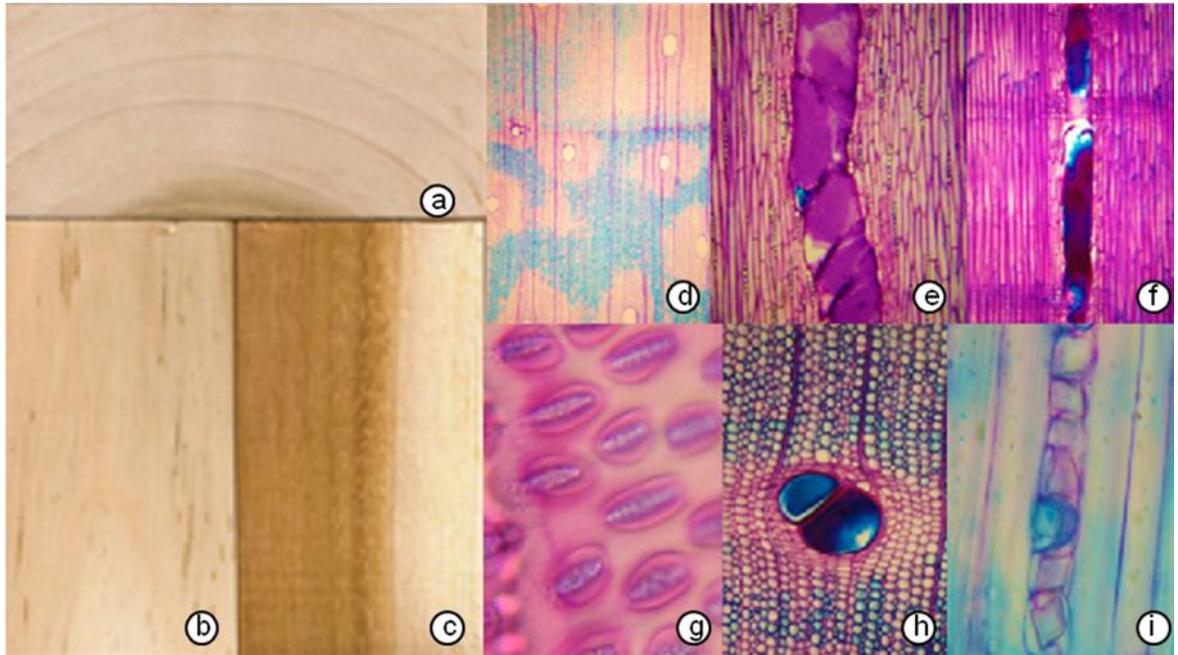


Lámina 3. *Enterolobium cyclocarpum*. Tablillas: a. transversal. b. tangencial. c. radial. Cortes: d. transversal (5x). e. tangencial (10x). f. radial (10x). g. Puntuaciones areoladas ornamentadas en vasos (100x). h. Gomas en vasos (40x). i. Cristales prismáticos en parénquima (40x).

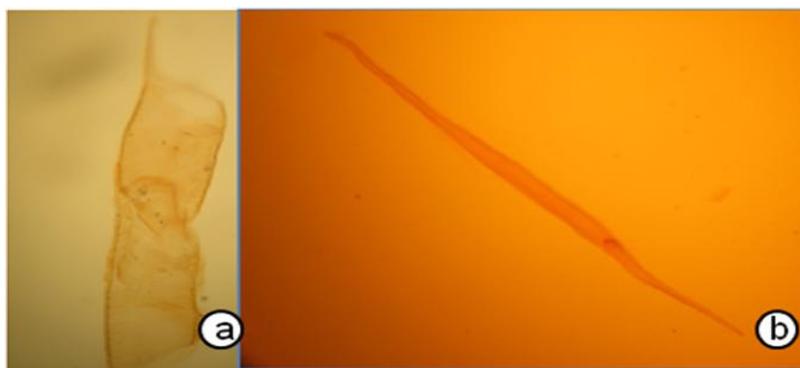


Figura 28. a. dos elementos de vaso (20x). b. fibra de *Enterolobium cyclocarpum* (10x).

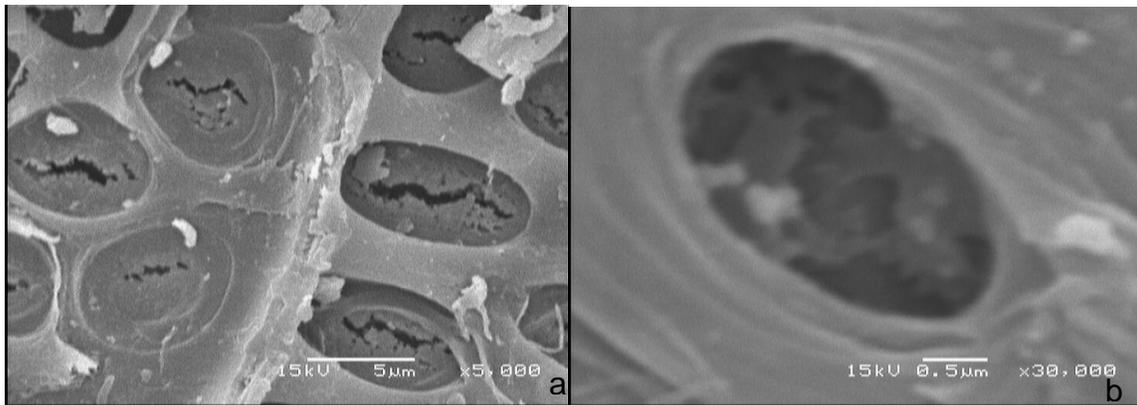


Figura 29. Puntuaciones ornamentadas de elementos de vaso de *Enterolobium cyclocarpum* a. (5000x). b. (30000x).

Cuadro 16. Valores anatómicos mensurables de *Enterolobium cyclocarpum*

VASOS			
Poros		Elementos vasculares*	
No. x mm ²	Diámetro tangencial*	Longitud*	
muy pocos X = 1 Mín = 1 Máx = 4	Mediano X = 141 Mín = 60 Máx = 210	muy cortos X = 220 Mín = 80 Máx = 400	
RADIOS			
No. de series	No. x mm	Altura*	Anchura*
uniseriados X = 1 Mín = 1 Máx = 2	pocos X = 4 Mín = 2 Máx = 6	extremadamente bajos X = 129 Mín = 60 Máx = 203	extremadamente finos X = 14 Mín = 10 Máx = 19
FIBRAS			ANILLOS DE CRECIMIENTO**
Longitud*	Diámetro*	Grosor*	
Mediana X = 1067 Mín = 750 Máx = 1775	fino X = 13 Mín = 9 Máx = 18	delgado X = 3 Mín = 2 Máx = 3	conspicuos 10 a 25

*Valores dados en micras ** valores dados en mm

La madera de *Hura polyandra* es de porosidad difusa, los poros son pocos, de diámetro tangencial mediano, la mayoría múltiples de 4 a 6, algunos solitarios. Los elementos vasculares son medianos, sus paredes con puntuaciones areoladas alternas, ovales y platina de perforación simple (Figura 31). Algunos presentan tílides. El parénquima axial es apotraqueal en bandas, de una hilera de células de ancho. Algunas células parenquimáticas presentan cristales prismáticos dentro de cámaras. Los radios son homogéneos, uniseriados, moderadamente numerosos, extremadamente bajos y muy finos. Las fibras son de longitud mediana, diámetro fino y pared gruesa (Figura 30). Los anillos de crecimiento miden de 2 a 15 mm de ancho, marcados por 3 a 4 hileras de fibras (Lámina 4. Figura a, Figuras d-i, Cuadro 17).

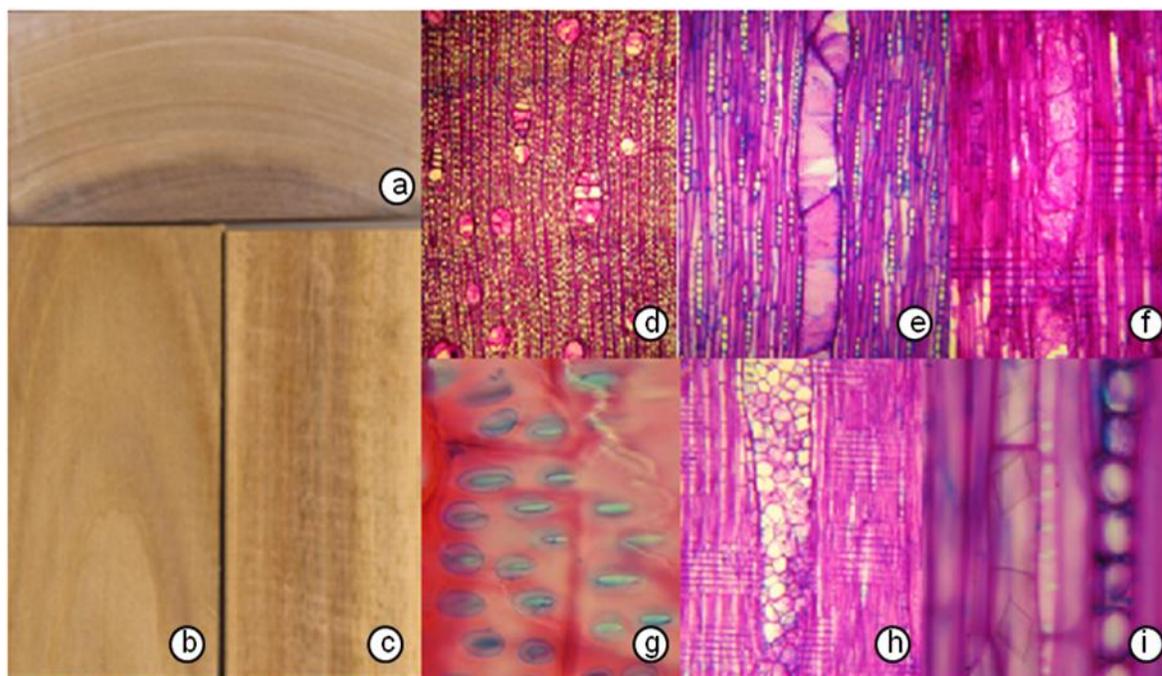


Lámina 4. *Hura polyandra*. Tablillas: a. transversal. b. tangencial. c. radial. Cortes: d. transversal (5x). e. tangencial (10x). f. radial (10x). g. Puntuaciones areoladas en vasos (100x). h. Tílides (10x). i. Cristales prismáticos en parénquima (40x).

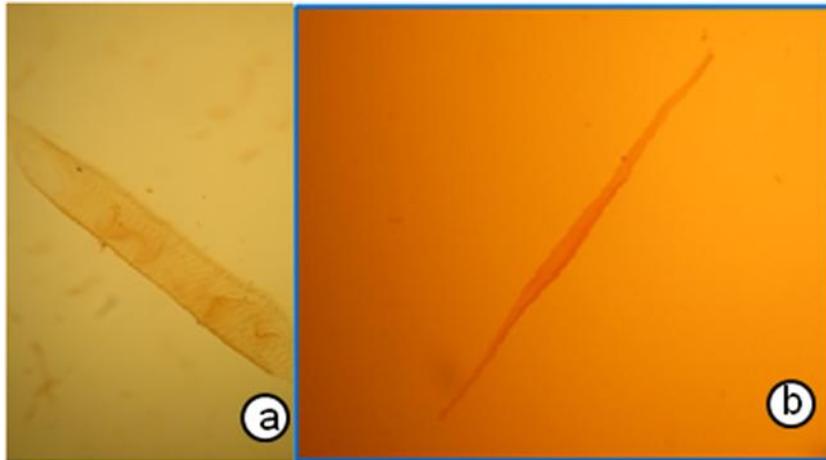


Figura 30. a. un elemento de vaso (20x) b. fibra de *Hura polyandra* (10x).

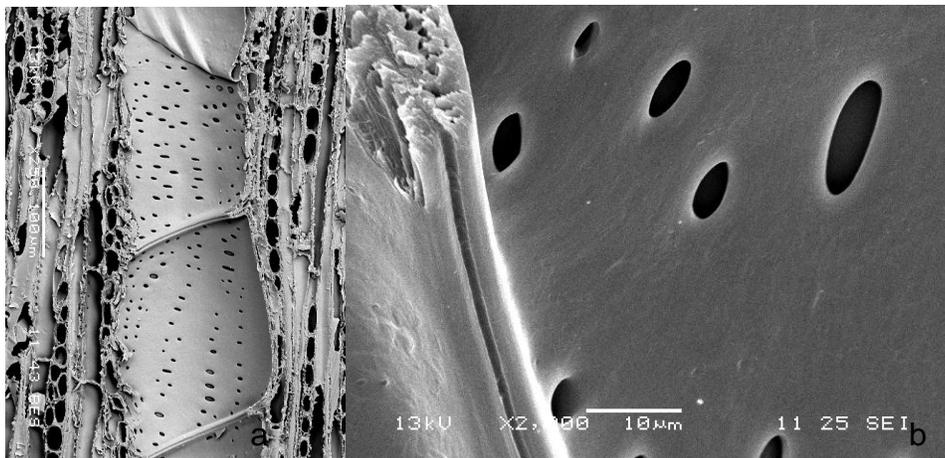


Figura 31. Puntuaciones de elementos de vaso de *Hura polyandra* a. (250x). b. (2000x).

Cuadro 17. Valores anatómicos mensurables de *Hura polyandra*

VASOS			
Poros		Elementos vasculares	
No. x mm ²	Diámetro tangencial*	Longitud*	
Pocos X = 4 Mín = 1 Máx = 6	Mediano X = 122 Mín = 60 Máx = 170	medianos X = 413 Mín = 200 Máx = 600	
RADIOS			
No. de series	No. x mm	Altura*	Anchura*
uniseriados X = 1 Mín = 1 Máx = 2	moderadamente numerosos X = 5 Mín = 3 Máx = 9	extremadamente bajos X = 192 Mín = 102 Máx = 291	muy finos X = 20 Mín = 14 Máx = 32
FIBRAS			ANILLOS DE CRECIMIENTO**
Longitud*	Diámetro*	Grosor*	
mediana X = 940 Mín = 650 Máx = 1325	fino X = 9 Mín = 7 Máx = 13	grosso X = 4 Mín = 2 Máx = 4	Conspicuos 2 a 15

*Valores dados en micras

** valores dados en mm

4.4 Propiedades tecnológicas de la madera

4.4.1 Físicas

La madera de *Enterolobium cyclocarpum* es muy liviana, de contracción tangencial y volumétrica bajas y contracción radial muy baja, poco estable y salida de agua libre rápida (Cuadro 18). La madera de *Hura polyandra* es moderadamente pesada, de contracciones bajas, muy estable y salida de agua libre lenta (Cuadro 19).

Cuadro 18. Características físicas de *Enterolobium cyclocarpum*

Densidad básica PA/VV	Contracción tangencial %	Contracción radial %	Contracción volumétrica %	Coefficiente de anisotropía	Punto de saturación de la fibra %
muy liviana 0.29	baja 4.63	muy baja 1.83	muy baja 6.46	poco estable 2.52	rápido 33.36

Cuadro 19. Características físicas de *Hura polyandra*

Densidad básica PA/VV	Contracción tangencial %	Contracción radial %	Contracción volumétrica %	Coefficiente de anisotropía	Punto de saturación de la fibra %
moderadamente pesada 0.48	Baja 4.89	baja 2.97	Baja 7.86	muy estable 1.65	lento 21.44

4.4.2 Mecánicas

Mecánicamente la madera de *Enterolobium cyclocarpum* es suave, flexible, poco resistente a la compresión (Figura 32), moderadamente resistente al cortante y poco tenaz (Cuadro 20). La madera de *Hura polyandra* es muy dura, rígida, resistente a la compresión (Figura 32), muy resistente al cortante paralelo y de tenacidad media (Cuadro 21) (Figuras 32 y 33).

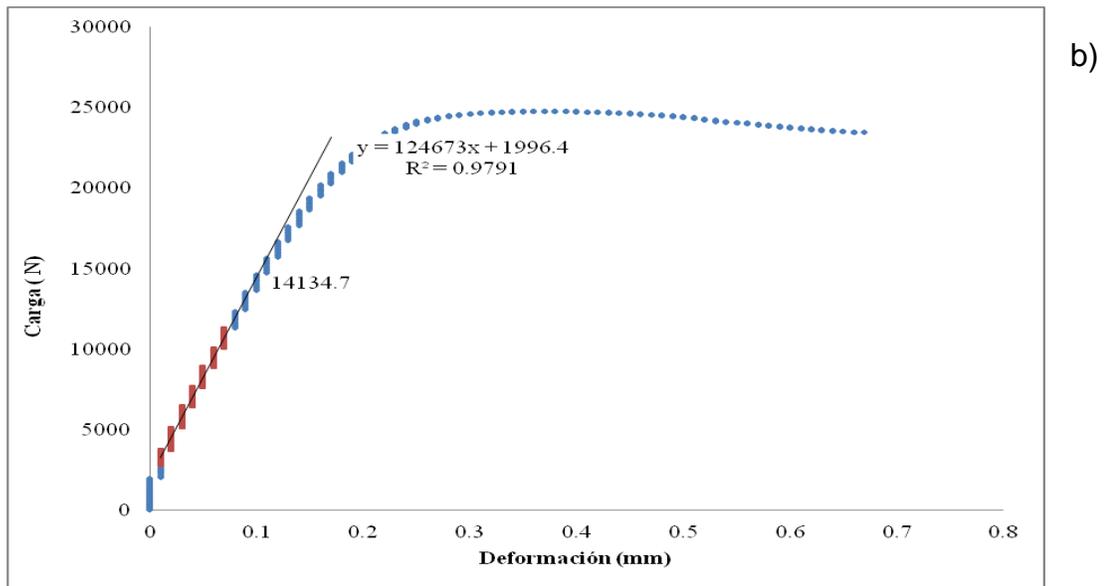
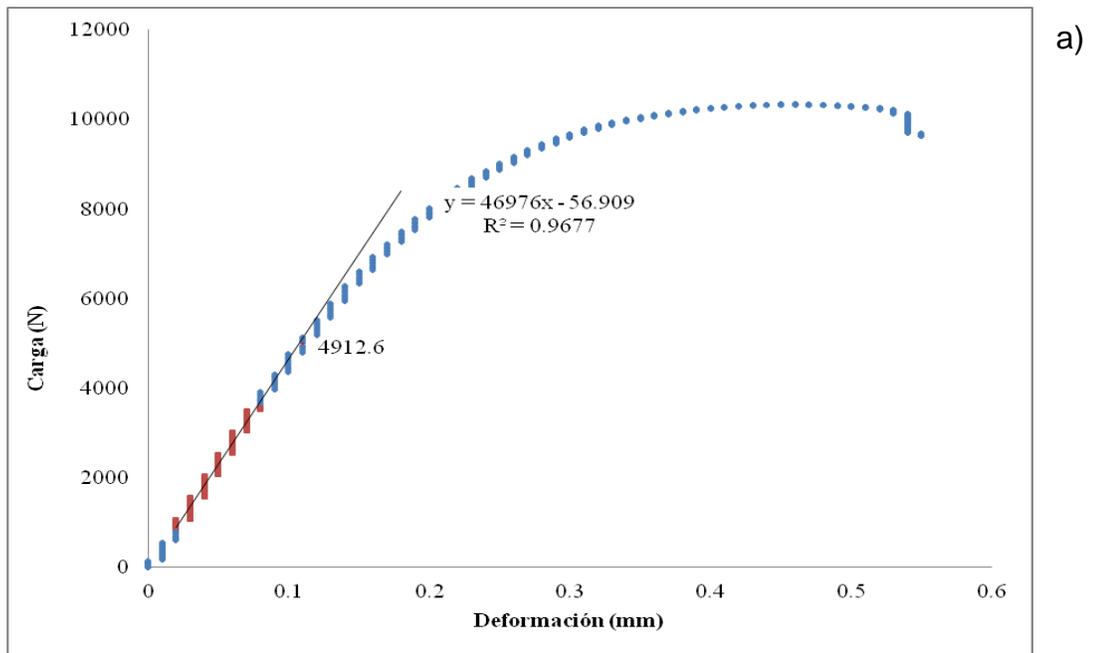


Figura 32. Gráfica a curva P-Delta (carga-deformación) para la prueba de compresión paralela en a. *Enterolobium cyclocarpum* y b. *Hura polyandra*.

Cuadro 20. Características mecánicas de *Enterolobium cyclocarpum*

Dureza Janka Kg	Flexión estática (MOR) kg/cm ²	Compresión paralela (EMAX) kg/cm ²	Compresión perpendicular (ELP) kg/cm ²	Cortante paralelo (EMAX) kg/cm ²	Impacto (Tenacidad) kg cm/cm ³
suave 235	flexible 394	poco resistente 208	poco resistente 30	moderadamente resistente 68	poco resiliente 2.26

Cuadro 21. Características mecánicas de *Hura polyandra*.

Dureza Janka Kg	Flexión estática (MOR) kg/cm ²	Compresión paralela (EMAX) kg/cm ²	Compresión perpendicular (ELP) kg/cm ²	Cortante paralelo (EMAX) kg/cm ²	Impacto (Tenacidad) kg cm/cm ³
muy dura 694	rígida 734	resistente 379	resistente 67	muy resistente 114	poco resiliente 2.69

4.4.2 Secado

Los tiempos de secado de ambas especies son diferentes, *Enterolobium* seca primero que *Hura polyandra*, aunque ambas se consideran de secado rápido (Figura 34) (Cuadros 22 y 23).

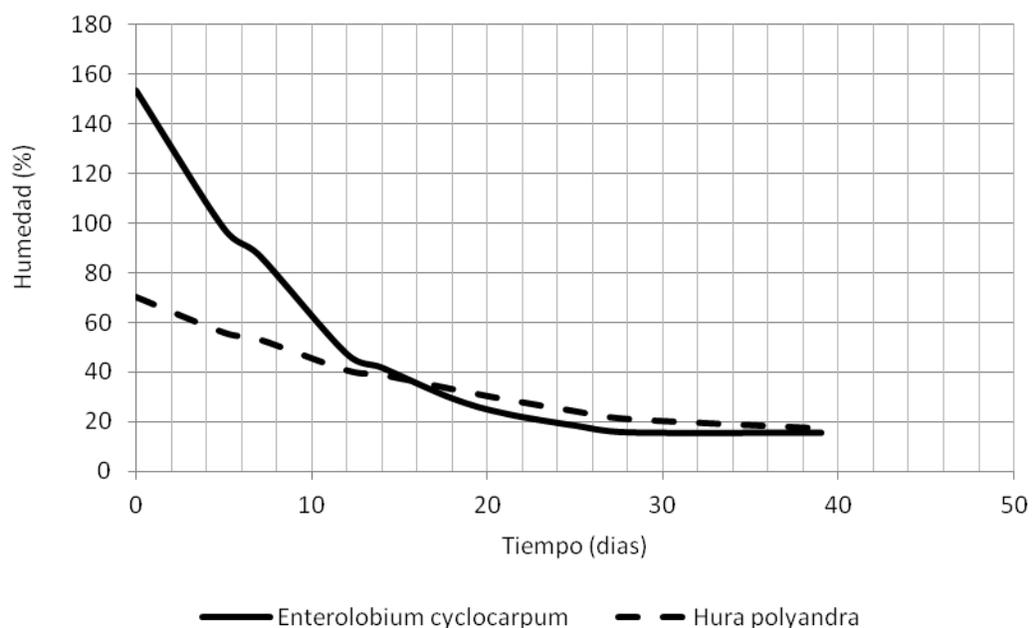


Figura 33. Comportamiento del secado al aire libre de ambas especies

Cuadro 22. Características del secado de *Enterolobium cyclocarpum*

Contenido de humedad %		Tiempo de secado
Inicial	Final	
154	16	rápido 28 días

Cuadro 23. Características del secado de *Hura polyandra*

Contenido de humedad %		Tiempo de secado
Inicial	Final	
70	16	rápido 40 días

5 DISCUSIÓN

Rojas y Gutiérrez (2011) mencionan que *E. cyclocarpum* justifica su fenología basada principalmente en la disponibilidad de humedad en el suelo, por lo que al haber sequía y disminuir su flujo de savia, se presenta la caída de su follaje. En su floración están involucrados nutrimentos almacenados y factores hormonales que con una temperatura promedio más baja estimulan la diferenciación celular de los meristemas florales ejerciendo un efecto vernalizador, en sentido inverso un aumento de la temperatura facilita la diferenciación y maduración del brote frutal (Pallardy (2008) tal como lo observado en los meses de marzo-mayo. El brote de hojas de *Enterolobium cyclocarpum* se ha calificado como temprano respecto a la mayoría de las especies de selvas secas (Daubenmire 1972), comportamiento atribuido a una mayor expansión de las raíces para aprovechar humedad más profunda (Rojas *et al.* 2007). Borchert (1983) en un estudio en selvas caducifolias señala que esta especie presenta asincronía fenológica entre individuos de una misma población, relacionada con la disponibilidad de agua del micrositio donde crecen, comportamiento que se observa en el presente estudio.

El comportamiento fenológico de *Hura polyandra* está relacionado con los siguientes hechos: la caída de hojas es una estrategia para disminuir la transpiración, conservar la integridad del sistema conductor de agua y para mantener reservas de carbohidratos para la consecuente producción de flores y frutos; también se ha encontrado que la diferenciación de los meristemas junto con factores hormonales se desencadena por aumento de la temperatura (Pallardy, 2008). El desarrollo de

nuevos meristemas foliares requiere de un aporte mayor de agua, incrementando así el área foliar y la actividad fotosintética que suministra lo que requiere el cambium vascular para crecer y lo que almacenará el xilema (Kozlowski, 1992).

En el presente trabajo el modelo sigmoideo de crecimiento de *Enterolobium cyclocarpum* refleja un escenario de lento crecimiento (Figura 12) al inicio de su vida (establecimiento) y uno más rápido (edades juveniles y maduras) (Figuras 13 y 14) que decrece paulatinamente a mayores edades; además de disminuir también por variaciones estacionales (Salgado *et al.*, 2005). Makocki y Valdez (2001) en selvas medianas subcaducifolias describen para esta misma especie un periodo sin incremento en secas y un aumento del fuste durante el periodo de lluvias, también señalan que los incrementos se favorecen con copas de árboles dominantes y codominantes que poseen mayor vigor y que aprovechan más luz. Estos mismos autores señalan que su incremento promedio anual fue de 1.29 cm con valores de precipitación de 1410 mm , similares a lo encontrado para este trabajo.

Hura polyandra mostró un crecimiento mayor con las copas más iluminadas más que las totalmente simétricas lo que refleja el estado sucesional y de estructura de esta selva que al tener un dosel más cerrado hay mayor competencia por el recurso lumínico, al respecto Justiniano y Fredericksen (2005) mencionan la versatilidad de *Hura crepitans* L. ya que se comporta como una especie heliófita y a veces como esciófita, en lugares poco o nada alterados así como en claros de corta, caminos y en afloramientos rocosos, tal como lo observado en el presente estudio. El

crecimiento promedio anual registrado en éste trabajo es menor (0.27 cm) a lo mencionado por Luna (1994) en Bolivia para *Hura crepitans* que crece de 0.37 a 0.40 cm y Harsthorn (1994) en Costa Rica alcanza de 2 a 3 cm anuales en condiciones de manejo, ambos autores argumentan que la especie requiere de aperturas en el dosel para crecer y en condiciones de poca competencia desarrollan fustes cortos y mucha ramificación.

Anatómicamente ambas especies presentan semejanzas macroscópicas en cuanto a la diferencia en tonalidad entre albura y duramen; la albura es blanca y el duramen es castaño claro en ambas, no tienen olor ni sabor característicos, su brillo es mediano, el veteado suave y la textura fina. En *Enterolobium cyclocarpum* el hilo es oblicuo, los anillos están marcados por 2 a 4 hileras de fibras y en *Hura polyandra* el hilo es recto y los anillos están marcados por 2 a 3 hileras de fibras. Se diferencian en que el hilo es oblicuo en *Enterolobium cyclocarpum* y sus anillos están marcados por 2 a 4 hileras de fibras.

Microscópicamente ambas son semejantes en que su porosidad difusa, el diámetro mediano de sus vasos, ambas presentan puntuaciones alternas ovales y platina de perforación simple, su parénquima axial presenta cristales prismáticos, sus radios son uniseriados, homogéneos, extremadamente bajos y sus fibras son de longitud mediana y diámetro fino. Son diferentes en que en *Enterolobium cyclocarpum* los poros son muy pocos, la mayoría solitarios y unos cuantos múltiples, sus elementos vasculares son muy cortos y tienen puntuaciones ornamentadas, algunos vasos

tienen gomas, su parénquima axial es paratraqueal vasicéntrico presentando hasta 12 células de ancho, sus radios son pocos, extremadamente finos, sus fibras de pared delgada, sus anillos de crecimiento miden de 10 a 25 mm de ancho. En *Hura polyandra* los poros son pocos, la mayoría múltiples y algunos solitarios, sus elementos vasculares son medianos, tiene puntuaciones no ornamentadas, algunos vasos tienen tílides, su parénquima es axial apotraqueal en bandas de una hilera de células de ancho, sus radios son moderadamente numerosos, muy finos, sus fibras tienen pared gruesa y sus anillos de crecimiento son de 2 a 15 mm de ancho.

Enterolobium cyclocarpum coincide en la diferencia entre albura y duramen con anteriores trabajos (Cárdenas, 1971; Corral, 1985, Silva, 2008), es diferente en el veteado así como en la textura, hilo y la presencia de anillos de crecimiento. Estas diferencias son debidas al tamaño de los elementos celulares como el diámetro de los poros, la altura corta, la anchura fina de los radios que producen una textura fina. Por otro lado, el hilo es oblicuo, de manera semejante a lo comúnmente encontrado en especies tropicales (Silva, 2008). *Hura polyandra* presenta diferencias con lo mencionado por Silva (2008) respecto al color de la albura de color blanquecino con transición gradual a duramen de color crema o amarillo pálido, anillos de crecimiento poco marcados, textura gruesa, sabor característico, coinciden en el brillo mediano y el veteado suave.

En las propiedades físicas, ambas especies coinciden en las contracciones tangenciales que son bajas y son diferentes en que *Enterolobium cyclocarpum* es

una madera muy liviana, tiene contracciones tangenciales bajas y contracciones radial y volumétrica muy bajas, poco estable, con punto de saturación de la fibra rápido y *Hura polyandra* es una madera moderadamente pesada, tiene contracciones bajas, estable dimensionalmente y con punto de saturación menor que *Enterolobium*. Estas diferencias se explican en gran medida por la densidad de ambas que redundan en mayores valores para la madera más densa (Dávalos y Bárcenas, 1999), las bajas contracciones tangenciales de ambas especies se deben a las dimensiones de los elementos anatómicos tales como el diámetro de los vasos, la longitud de los radios y el grosor de las paredes celulares. La especie con menor valor de coeficiente de anisotropía, *Hura polyandra*, tiene mayor estabilidad dimensional y por lo tanto, menor riesgo de que aparezcan grietas de la madera durante el proceso de secado, que a su vez es más lento que el de la especie más ligera, también influyen las dimensiones de los elementos estructurales (p. ej. el grosor de la pared de sus fibras) (León, 2010) y los tipos de contenidos presentes que pueden retrasar la salida del agua libre (De la Paz y Dávalos, 2008).

En el caso de *Enterolobium cyclocarpum* la densidad de su madera es similar a la de ejemplares de las selvas de Campeche (0.29 g/cm^3) (Robles, 1978) y menor a algunas de Yucatán (0.37 g/cm^3) (Gonzalez *et al.*, 2004). Robles (1978) determinó un coeficiente de anisotropía de 2.71, comparable con el registrado aquí de 2.52, estos datos son muy parecidos a valores obtenidos en especies tropicales de Puerto Rico de densidad similar a *E. cyclocarpum* (promedio 0.28) para las que se calcularon valores de coeficiente de anisotropía (CT/CR) promedio de 2.27 (Longwood, 1961).

La densidad de *Hura polyandra* (0.48 g/cm^3) fue similar a lo mencionado por Echenique-Manrique (1970) ($0.36\text{-}0.44 \text{ g/cm}^3$) y también es semejante a los datos del trabajo de Silva (2008) ($0.47\text{-}0.68 \text{ g/cm}^3$). *Hura crepitans*, especie sudamericana con densidad básica promedio de 0.42 g/cm^3 tiene una razón Contracción tangencial/Contracción radial (CT/CR) promedio (coeficiente de anisotropía) de 1.6 (Keenan y Tejada, 1987), similar a la obtenida en este estudio para *H. polyandra* (1.65).

En el presente estudio, *Enterolobium cyclocarpum* presentó valores del módulo de ruptura en la prueba de flexión de 394 kg/cm^2 y de dureza de 235 kg, siendo menores a lo que presenta Silva (2008), $430\text{-}600 \text{ kg/cm}^2$ para una densidad de $0.38\text{-}0.52 \text{ g/cm}^3$, así mismo se encontró un menor valor al cortante paralelo (68 kg/cm^2) a lo determinado por González *et al.* (2004) (73 kg/cm^2) con madera de mayor densidad (0.37 g/cm^3). Las propiedades mecánicas de *Hura polyandra* la describen como una madera dura (694 kg), resistente a la flexión (734 kg/cm^2), a la compresión perpendicular (67 kg/cm^2), paralela (379 kg/cm^2) así como al cortante paralelo (114 kg/cm^2), estos resultados tienen valores más altos que los obtenidos por Echenique-Manrique (1970) y menores a lo descrito por Silva (2008) en madera con menor (0.39) y similar densidad ($0.47\text{-}0.68$), respectivamente.

Los resultados del presente trabajo permiten inferir relaciones entre los aspectos anatómicos, tecnológicos, del crecimiento, la fenología y el clima, ya que las dimensiones y arreglo de los elementos anatómicos explican la plasticidad de cada

especie a ambientes particulares (Barajas, 1985; Lindorf, 1994). En el caso de *Enterolobium cyclocarpum* la distribución, ancho y longitud de elementos de vaso reflejan un ambiente con disponibilidad hídrica estacional (México) (Carlquist, 1977; Lindorf, 1994), en este sentido debe mencionarse que las punteaduras ornamentadas de *E.cyclocarpum* coadyuvan a la integridad de los vasos durante el estrés hídrico y son también un carácter taxonómico presente en la mayoría de los géneros de la familia Leguminosae (Jansen *et al.*, 1998). Debe señalarse que la abundancia del parénquima como reserva de carbohidratos (Kozlowski, 1992) independientemente de su arreglo, influye en los procesos fisiológicos como la floración, la fructificación y el brote de hojas durante los meses de sequía,

Se encontró que la anchura de los anillos de crecimiento fue mayor en *Enterolobium cyclocarpum* que en *Hura polyandra* y su densidad presentó un patrón inverso al ancho de anillos lo que también tiene repercusión en sus propiedades tecnológicas. *E. cyclocarpum* con su menor densidad tiene menores resistencias a esfuerzos debido a paredes más angostas de fibras pero crece más rápido. *H. polyandra* crece más lento, es más densa con paredes más gruesas y seca en mayor tiempo debido al mayor volumen de agua libre que contiene y a la presencia de contenidos (tíldes) en sus vasos que se ha demostrado pueden ser una estructura que retrasa el proceso (De la Paz Pérez y Dávalos, 2008). Uno de los factores que inciden en el crecimiento de estas especies además de su estructura interna tiene que ver con la forma en que aprovecha la energía solar para llevar a cabo los procesos de crecimiento y desarrollo, las hojas compuestas de *E. cyclocarpum* permiten una

mayor disipación del calor por unidad de superficie lo cual permite su brote y fotosíntesis en épocas de mayor insolación, *H. polyandra* por amplia lámina foliar requiere prescindir de ella para evitar una alta transpiración y pérdida de agua (Givnish, 1978).

Aunque las dos especies son pioneras en sus respectivas localidades, sus eventos fenológicos, sus tasas de crecimiento, características anatómicas y propiedades tecnológicas definen patrones particulares. *Enterolobium cyclocarpum* como otras leguminosas se establece rápido en sitios alterados predominantemente arcilloso-arenosos como en “Los Varillos” (Anexo 1) y prioriza el crecimiento en altura y la conformación de sus copas para después aumentar su fuste. *Hura polyandra* es una especie que coloniza estas selvas secundarias aprovechando aperturas del dosel en espacios no sombrosos y en micrositios alterados de suelos arcillosos con alta pedregosidad “El Chilcahuite” (Anexo 1). De acuerdo a la clasificación de Swaine y Whitmore (1988) *E. cyclocarpum* pertenece al grupo de especies que invierten en crecimiento radial y longitudinal a expensas del soporte biomecánico, caso contrario de otras pioneras que se caracterizan por moderado o lento crecimiento pero con madera más resistente a esfuerzos (*Hura polyandra*).

6 CONCLUSIONES

La fenología foliar de *Enterolobium cyclocarpum* se asoció a la dinámica de la temperatura de la zona, mientras que su fenología reproductiva es resultado de la interacción con factores de tipo endógeno y a la precipitación.

La fenología foliar de *Hura polyandra* se asoció a la dinámica de la precipitación de la zona, mientras que su fenología reproductiva lo hizo involucrando a la temperatura como factor promotor.

El crecimiento de ambas especies es anual y favorecido por la precipitación, *Enterolobium cyclocarpum* crece más con copas simétricas y *Hura polyandra* pondera la iluminación para registrar mayores incrementos en el diámetro.

Las características anatómicas de ambas especies como el diámetro de los vasos, abundancia del parénquima y la ornamentación de sus punteaduras vasculares parecen definir la relación de los árboles con el ambiente en el cual crecen.

La madera de *E. cyclocarpum* por sus características tecnológicas caracterizan a un material adecuado para usos que no requieran de grandes esfuerzos a la compresión, al cortante y al impacto; con un previo secado rápido. Los usos que se confirman con el presente estudio incluyen: artesanías, decoración de interiores, chapa, lambrín, puertas y muebles decorativos.

La madera de *Hura polyandra* por sus características tecnológicas caracterizan a un material adecuado para usos que requieren de esfuerzos a la compresión y al cortante; aunque no es flexible ni resistente al impacto, debiéndose secar previamente de forma rápida. Los usos para esta especie en la zona de estudio además de construcciones rurales pueden diversificarse a: chapas, embalajes, decoración de interiores, parquet, molduras y madera contrachapada (triplay).

La fenología asincrónica y sus patrones de crecimiento permiten sugerir ambas especies para rehabilitar y enriquecer las selvas secundarias de la zona de estudio, sus características tecnológicas sugieren que ambas son adecuadas para incluirse principalmente como elemento maderable en sistemas agroforestales.

7 BIBLIOGRAFIA

- ASTM. 2005. Standard methods of testing small clear specimens of timber. ASTM Standard D143-94. Philadelphia. PA. 800p.
- Auclair, N. y G. Cottam. 1973. Multivariate analysis of radial growth of black cherry (*Prunus serotina* Erhr) in southern wisconsin oak forests. American Midland Naturalist 89(2): 408-425.
- Ávila, Y., C. Ballón, K. Bustamante, C. Condori, J. Rosero y M. Chavesta. 2010. Evaluación del crecimiento de árboles de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb (Oreja de Negro) a través del análisis dendrocronológico. IX Congreso Nacional Forestal. Universidad Nacional del Centro de Huancayo. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. 2010. Huancayo, Perú. P. 432-438-
- Balvanera, P., E. Lott, G. Segura, C. Siebe y A. Islas. 2002. Patterns of β -diversity in a Mexican tropical dry forest. Journal of Vegetation Science 13:145-158.
- Barajas, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. IAWA Bulletin 6(4):355-364.
- Bárcenas, M. 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona, Chis., México. Madera y Bosques 1(1):9-38
- Borchert, R. 1994a. Water status and development of tropical trees during seasonal drougthy. Trees 8:115-125
- Borchert, R. 1994b Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest. Ecology 75(5):1437-1449.

- Borchert, R., Meyer A., Felger R. y Porter L. 2004. Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecology Biogeography* 13:409–425.
- Borges, J. 2007. Relacoes funcionais entre propriedades físicas e mecánicas de madeiras tropicais brasileiras. *Floresta* 37(3):399-416.
- Borman, H. y T. Kozlowski. 1962. Measurements of tree growth with dial gage dendrometers and vernier tree ring bands. *Ecology* 43(2):289-294.
- Botosso, C. y R. Vetter. 1991. Alguns aspects sobre a periodicidade e taxa de crescimento em 8 espécies arbóreas tropicais de floresta de terra firme (Amazonia). *Revista Instituto Floresta* 3(2):163-180.
- Brienen, W. y P. Zuidema. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forest: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia Online* first. DOI: 10.1007/s00442-005-0160.
- Brodersen, R., A. McElrone, B. Choat, M. Matthews y K. Shackel. 2010. The dynamics of embolism repair in xylem: In vivo visualizations using high-resolution computed tomography. *Plant Physiology* 154:1088–1095.
- Bullock, S. y J. Solís-Magallanes. 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica* 22:22-35.
- Bullock, S. 2002. La fenología de plantas en Chamela. pp. 491-498. En: F. Noguera, J. Vega Rivera, A. García, M. Quesada (Eds.) *Historia Natural de Chamela*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Bustamante, T. 2003. La tragedia de los bosques de Guerrero. *Historia ambiental y las políticas forestales*. Fontamara, México. 73 p.

- Cameron, R. y R. Lea. 1980. Band Dendrometers or Diameter Tapes?. *Journal of Forestry* 12:277-278
- Cárdenas, E. 1971. Estudio anatómico de la madera de 8 sp. de leguminosas. Tesis de Biología. ENCB IPN. 75 p.
- Carlquist, S. 1977. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *American Journal of Botany* 64:887–896.
- Castillo, A., C. Godínez, N. Schroeder, C. Galicia, A. Pujadas y L. Martínez. 2009. El bosque tropical seco en riesgo: conflictos entre uso agropecuario, desarrollo o turístico y provisión de servicios ecosistémicos en la costa de Jalisco, México. *Interciencia*. 34(12): 844-850.
- Catellino, P., C. Becher y L. Fuller. 1986. Construction and installation of homemade dendrometer bands. *Northern Journal of Applied Forestry* 3:73-75.
- Chattaway, M. 1932. Proposed standards for numerical values used in describing woods. *Tropical Woods* 9:20-28.
- Chattaway, M. 1955. Crystals in woody tissues I. *Tropical Woods*. 102:55-74.
- Corral, G. 1985. Características anatómicas de la madera de once especies tropicales. Boletín Técnico No. 127. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 68 p.
- Clark, D. y D. Clark. 1994. Climate-induced annual variation in Canopy tree growth in a Costa Rica tropical rain forest. *The Journal Of Ecology* 82(4):865-872.
- Dashek, W. y J. Mayfield. 2000. Methods for the ultrastructural analysis of plant cells and tissues. pp. 195-214. In: Dashek, W (Ed.) *Methods in Plant Electron Microscopy and Cytochemistry* Human Press Inc. New Jersey, USA.

- Dávalos, R. y G. Bárcenas. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. *Madera y Bosques* 5(1):61-69.
- Dawkins, H. 1958. The management of natural tropical high forest with special referent to Uganda. Institute Paper no. 34 Imperial Forestry Insitute Oxford. 155 p.
- Dawkins, H. 1963. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees. *Commonwealth Forestry Review* 42:318-333.
- De La Paz Pérez, C y A. Quintanar. 1994. Características anatómicas de la madera de cinco especies del estado de Jalisco, México. *Acta Botánica Mexicana* 27:75-87.
- De La Paz Pérez, C., T. Carmona y A. Rogel. 1979. Estudio anatómico de la madera de cuarenta y tres especies tropicales. *Boletín Técnico Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México.* 276 p.
- De la Paz Pérez, C. y R. Dávalos. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.
- Echenique, R. 1970. 25 Maderas tropicales mexicanas. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. México. 237 p.
- Echenique, R., J. Barajas, L. Pinzón y V. Pérez. 1975. Características tecnológicas de la madera de 10 especies en: Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Veracruz núm. 1. INIREB. 66 p.
- Echenique, R. y F. Robles. 1993. *Ciencia y Tecnología de la Madera I.* Universidad Veracruzana (Textos Universitarios), Xalapa, Veracruz

- Estrada, A., G. Márquez, A. Sánchez, M. Valenzuela, B. Salomón, R. Sánchez y C. Romero. 2010. Fenología foliar de árboles y variables atmosféricas en el mineral de nuestra señora de Cosalá. Sinaloa, México. VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México..
- Fichtler, E. y M. Worbes. 2012. Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *IAWA Journal* 33(2):119-140.
- Fonseca, R. y L. Lozada. 1993. Laguna de Coyuca. En: Diego N. y R. Fonseca (Eds.) *Estudios florísticos de Guerrero*. Facultad de Ciencias. UNAM. 23 p.
- Fournier, L. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas de árboles. *Turrialba* 24(4):422-423.
- Fournier, L. y C. Charpantier. 1975. El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales. *Turrialba* 25 (1):45-48.
- Galán, R. y J. Valdez, H. de los Santos y J. López. 2011. Periodicidad en la madera de cuatro especies arbóreas de la costa de Oaxaca. pp. 37-56. En: Endara A., A. Mora y J. Valdez (Eds.) *Bosques y Árboles del Trópico Mexicano: Estructura, Crecimiento y Usos*. CUCBA. Universidad de Guadalajara. Prometeo eds. Guadalajara, Jal.
- Gallardo, C. 1996. Parque ecológico La Vainilla. Zihuatanejo, Guerrero. En: Diego N. y R. Fonseca (Eds.) *Estudios florísticos de Guerrero*. Facultad de Ciencias. UNAM. 61 p.

- Gallegos, A., G. González, E. Hernández, J. Castañeda. 2008. Determinación de gremios ecológicos de ocho especies arbóreas de un bosque tropical de Jalisco, México. V Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de Recursos Forestales. SIMFOR. 26 al 28 de Abril de 2008. Universidad de Pinar del Río. Cuba. p. 1-9.
- Givnish, T. 1978. On the adaptative significance of compound leaves, with particular reference to tropical trees. pp. 351-380. In: Tomlinson P. y M. Zimmerman (Eds.) *Tropical Trees as Living Systems*. Cambridge University Press, Cambridge. Mass.
- Gomez, P. y L. Fournier. 1995. Fenología y Ecofisiología de dos poblaciones de *Tabebuia rosea* ("Roble de Sabana") en Costa Rica (Scrophulariales: Bignoniaceae). *Revista de Biología Tropical* 44:61-70.
- González, I., M. Cerón y L. Solis. 2004. Esfuerzos cortante y de tensión paralelos a la fibra en madera tropical de crecimiento rápido. *Revista Ingeniería*. Universidad Autónoma de Yucatán. 8(1):23-32.
- Gorchakov, D. 1984. *Materiales de construcción*. Ed. Lince. Barcelona, Esp. 123 p.
- Guridi, G., L. 1980. La madera en las artesanías del Estado de Michoacán. *Boletín Técnico* No. 50. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 59 p.
- Guindeo, A., L. García y P. de Palacios. 2001. Evolución, clima y anatomía de la madera. *Forestal* 12(2):47-57.
- Harold, W. y J. Hocker. 1984. *Introducción a la Biología Forestal*. ACT Editor. México. 446 pp.

- Hart, J. 2010. Tree growth and age in an ancient Hawaiian wet forest: vegetation dynamics at two spatial scales. *Journal of Tropical Ecology* 26:1–11.
- Hartshorn, S. 1994. An overview of neotropical forest dynamics In: A. Gentry (Ed.) *Four neotropical rainforests*. Yale University Press. New York, USA. p. 590.
- Hiratsuka, M., T. Oma, N. Mindawat, I. Heriansyah y Y. Morikawa. 2007. Long-term trends in trunk diameter and tree height growth in planted forests in the humid tropics of West Java, Indonesia. *Tropics* 17(1):51-58.
- Holdridge, L. 1982. *Ecología basada en zona de vida*. Segunda reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 216 p.
- IAWA Committee. 1939. Standards terms of size for vessels diameter and ray width. *Tropical Woods* 59:51-52.
- IAWA Committee. 1964. *Multilingual glossary of terms used in wood anatomy*. Committee on Nomenclature. Suiza. 186p.
- IAWA Committee .1989, IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* 10(3):219-332.
- INEGI. 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000. Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/12/12038.pdf>. Consultado el 12 de Enero de 2012.

- Jacquart; M., T. Armentano y A. Spingarn. 1992. Spatial and Temporal Tree Responses to Water Stress in an Old-growth Deciduous Forest. *American Midland Naturalist* 127(1):158-171.
- Jansen, S., E. Smets y P. Baas. 1998. Vestures in woody plants: a review. *IAWA Journal* 19(4):347-382.
- Johansen, D. 1940. *Plant microtechnique*. McGraw-Hill. Nueva york. 523 p.
- Johnson J. y Tarima J.M. 1995. Selección de especies para cortinas rompevientos en Santa Cruz, Bolivia. Informe Técnico No 24. CIATMBAT. 102 p.
- Justiniano, M. y T. Fredericksen. 2000. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas. Ochoó *Hura crepitans* L. Proyecto de Manejo forestal sostenible BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. 49 p.
- Keenan, J. y M. Tejada. 1987. Maderas tropicales como material de construcción en los países del Grupo Andino de América del Sur. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID). Ottawa, Canadá. 147 p.
- Kozlowski, T., C. Winget y J. Torrie. 1962. Daily Radial Growth of Oak in Relation to Maximum and Minimum Temperature. *Botanical Gazette* 124(1):9-17.
- Kozlowski, T. 1992. Carbohydrate source and sinks in woody plants. *The Botanical Review* 58(2):109-184.
- Kraft, B., M. Metz, R. Condit y J. Chave. 2010. The relationship between wood density and mortality in a global tropical forest data set. *New Phytology* 188:1124–1136.

- León, W. y N. Espinoza de Pernia. 2001. Anatomía de la madera. Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones y Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida, Venezuela. 397 p.
- León, W. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Forestal Venezolana* 54:67-76.
- Lindorf, H. 1994. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. *IAWA Journal* 15:361–376.
- Lobo, J., M. Quesada, K. Stoner, E. Fuchs, Y. Herrerías, J. Rojas, y G. Saborio. 2003. Factors affecting phenological patterns of Bombacaceae trees in seasonal forests in Costa Rica and México, *American Journal of Botany* 90(7):1054–1063.
- Longwood, F. 1961. Puerto Rican woods. Their machining, seasoning and related characteristics. Agriculture Handbook num. 205, USDAFS, Washington, D.C. 98 p.
- López, G. 2005. *Ecofisiología de Árboles*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 245 p.
- López-Ayala J., J. Valdez-Hernández, T. Terrazas y R. Valdéz-Lazalde. 2006a. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40(4):139-147.
- López- Ayala J., J. Valdez Hernández, T. Terrazas y R. Valdéz-Lazalde. 2006b. Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de Colima, México. *Agrociencia* 40(4):533-54.

- López, J. y J. Valdez. 2011. Uso de especies arbóreas en una comunidad de la reserva de la biosfera La Sepultura Estado de Chiapas. pp. 57-80. En: Endara A., A. Mora y J. Valdez (Eds.) Bosques y Árboles del Trópico Mexicano: Estructura, Crecimiento y Usos. CUCBA. Universidad de Guadalajara. Prometeo eds. Guadalajara, Jal.
- Lorea, F. y L. Lozada. 1989. Contribución al estudio de la flora y vegetación de una región costera en el estado de Guerrero. Informe mimeográfico. Archivo de la Comisión Biologías de Campo. Facultad de Ciencias. UNAM. 39 P.
- Lozada, L. 1994. Laguna de Mitla. En: Diego N. y R. Fonseca. Estudios florísticos de Guerrero. Facultad de Ciencias. UNAM. 44 p.
- Luna, A. 1994. Estudio sobre el crecimiento y edad de 20 especies forestales de los bosques naturales venezolanos Parte I. FUNDACITE-IFLE-Universidad de los Andes, Venezuela. Mérida, Venezuela. pag. 64-65.
- Makocki, M. y J. Valdez. 2001. Radial Growth Periodicity of Tree Species in a Semi-deciduosTropical Forest of the Pacific Coast of México: Implications for their Management. In Joint Symposium "Tree seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture" University of the Philippines Los Baños. 85-96 p.
- Makocki, M., J. Valdez y E. Moya. 2012. Crecimiento de tres especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia de Nayarit. Pp. 182-206. En: Salcedo P., E. Hernández, J. Vázquez. T. Escoto, y N. Díaz (Eds.). Recursos forestales en el occidente de México: Diversidad, Manejo, Producción, Aprovechamiento y Conservación. Serie fronteras de Biodiversidad 4 Tomo1. CUCEI-CUCBA, Universidad de Guadalajara. Amaya ediciones. Guadalajara, Jal.

- Manzano, F., J. Valdez, M. López y H. Vaquera 2010. Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 16(2):19-33.
- Mariaux, A. 1967a. Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et périodicité. Peuvent-ils reveler l'âge des arbres? *Bois et Forets des Tropiques* 113:3-14.
- Mariaux, A. 1967b. Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et périodicité (suite et fin). *Bois et Forets des Tropiques* 114:23-37.
- Morán, M., F. Carrera, J. Campos, L. Bastiaan, D. Delgado y G. Galloway. 2008. Evaluación de la sostenibilidad del manejo forestal comunitario en ejidos del estado de Guerrero, en: <http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev49-50/Pages%20124-130.pdf>. Consultado el 25 de Enero de 2012.
- Munsell Color. 1990. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. 17 p.
- Newstrom, L., G. Frankie y H. Baker. 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26:141-159.
- Palmer, J. y J. Ogden. 1983 A dendrometer band study of the seasonal pattern of radial increment in kauri, *Agathis australis*. *New Zealand Journal of Botany* 21:121 -126.
- Pallardy, S. 2008. *Physiology of woody plants*. 3a. edición. Elsevier Inc. USA. 454 p.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 2005. *Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies*. Texto científico universitario. Fondo de cultura económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 521 p.

- Pineda, E., C. de la Paz Pérez, R. Dávalos, J. Valdez y R. Zarate. Crecimiento, anatomía y propiedades físico-mecánicas de la madera de dos especies tropicales de Costa Grande, Guerrero. Memorias del XVI Foro de estudios sobre Guerrero. Acapulco, Guerrero. 27/XII/2011. Memorias p 160-163.
- Pineda, E., C. de la Paz Pérez y J. Valdez. 2012a. El aprovechamiento maderable en Costa Grande, Guerrero. *Biodiversitas* 102:6-12.
- Pineda, E., J. Valdez y M. Lopez. 2012b. Fenología de dos especies arbóreas en una selva alta perennifolia del Norte de Oaxaca. *Botanical Sciences* 90(2):185-193.
- Pineda, E., C. de la Paz Pérez, R. Dávalos y J. Valdez. 2012c. Características tecnológicas de la madera de dos especies de Costa Grande, Guerrero, México. *Madera y Bosques* 18(3):53-71.
- Plana, B. 2000. Introducción a la ecología y dinámica del bosque tropical. Curso sobre gestión y conservación de bosques tropicales. Centro Tecnológico Forestal de Catalunya, Esp. 23 p.
- Poorter, L., I. McDonald, A. Alarcón, E. Fichtler, J. Licona, M. Peña, F. Sterck, Z. Villegas y U. Sass. 2010. The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. *New Phytology* 185:481–492.
- Rebollar, S., C. de la Paz Pérez y A. Quintanar. 1996-97. Anatomía de la madera de ocho especies de la selva mediana subperennifolia de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical* 44: 67-77.

- Robles, F. 1978. Propiedades y usos de 14 especies tropicales de rápido crecimiento del campo experimental forestal El tormento. Boletín Técnico No. 16. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 89 p.
- Rojas, K., N. Holbrook y M. Gutiérrez. 2007. Dry-season leaf flushing of *Enterolobium cyclocarpum* (ear-pod tree): above- and belowground phenology and water relations. *Tree Physiology* 27:1561-1568.
- Rojas, K. y M. Gutiérrez. 2011. Relaciones hídricas en árboles del bosque tropical seco: el caso de *Enterolobium cyclocarpum*. *Revista Forestal Mesocamericana Kurú (Costa Rica)* 8(20):1-8.
- Román, L., A. Mora y A. Gallegos. 2011. Árboles tropicales de uso múltiple en la Costa de Jalisco, México. pp. 81-106 en: En: Endara A., A. Mora y J. Valdez (Eds.) *Bosques y Árboles del Trópico Mexicano: Estructura, Crecimiento y Usos*. CUCBA. Universidad de Guadalajara. Prometeo eds. Guadalajara, Jal.
- Sandoval, E. 2005. Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. Cuadernos del Instituto de Biología 38. UNAM. México, D.F. 281 p.
- Silva, G. 2008. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Coordinación Educación y Desarrollo Tecnológico. Comisión Nacional Forestal. Guadalajara, México. 62 p.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2012. Datos de precipitación y temperatura de la estación automática Zihuatanejo. Agosto de 2012.
- StataCorp. 2001. *Stata Statistical Software: Release 7.0*. College Station, TX; Stata Corporation.

- Salgado, I., J. Gómez y B. Peña. 2005. Métodos actualizados para análisis de datos biológico-pesqueros. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. 240 p.
- Sotomayor, J. 1987. Calidad de la madera para la industria de la construcción. Instituto Regional de Investigaciones de la Construcción del Estado de Michoacán, A.C.. Morelia, Michoacán. 141 p.
- Swaine, M. y T. Whitmore. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Plant Ecology* 75:81–86.
- Torelli, L. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Técnica México- Yugoslavia. SARH, FFF, México. 73 p
- Tortorelli, J. 1956. Maderas y bosques argentinos. ACME. Buenos Aires. 910 p.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94:133-142.
- Valdez, M., J. Andrade, P. Jackson y M. Rebolledo. 2010. Phenology of five species of a tropical dry forest in Yucatan, Mexico: effects of environmental and physiological factors. *Plant and Soil* 329:155-171.
- Van Shaick, C., J. Terborgh y J. Wright. 1993. The phenology of tropical forests: adaptative significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24:353-377.
- Youngs, R. y M. Chundnoff. 1983. Evaluación de conceptos para la mejor utilización de los recursos madereros tropicales. *Unasyuva* 128:34-39.

- Wolter, K. 1968. A new method for marking xylem growth. *Forest Science* 14:102-104.
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology* 87:391–403.
- Worbes, M., R. Staschel, A. Roloff y W. Junk. 2003. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 173:105–123.
- Zavala, D. 2000. Secado de maderas en estufas convencionales. *Madera y Bosques* 6(1):41-54.
- Zhang, L. 1997. Cross-validation of Non-linear Growth Functions for Modelling Tree Height Diameter relationships *Annals of Botany* 79:251-257.

ANEXOS

Análisis de muestras de suelo en los sitios de estudio

Profundidad	Densidad aparente g/cm ³	Contenido de humedad %	Densidad real g/cm ³	Carbono/ nitrógeno	C %	N %	pH	Arcilla ^a %	Limo fino ^b %	Limo grueso ^c %	Arena fina ^d %	Arena media ^e %	Arena gruesa %	Clase textural
Sitio "Los Varillos" (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)														
30 cm	1.32	11.65	2.34	11	3.1	0.29	6.5	26.1	10.8	8.3	24.9	16.7	13.2	Migajón arcilloso arenoso
Sitio "Chilcahuite" (<i>Hura polyandra</i>)														
25 cm	1.62	-	2.8	9	3.6	0.41	5.8	31.4	18.3	15.4	17	7.9	10	Migajón arcilloso

^a(<2) μm, ^b(2-20) μm, ^c(20-53) μm ^d(53-250) μm ^e(250-500) μm, ^f(500-2000) μm

EL APROVECHAMIENTO MADERABLE EN COSTA GRANDE, GUERRERO

Figura 1. Localización y regiones del estado de Guerrero y municipios de Costa Grande.
 a. Estado de Guerrero;
 b. Regiones; c. Municipios.



ELIZANDRO PINEDA HERRERA,¹ CARMEN DE LA PAZ-PÉREZ OLVERA² y JUAN IGNACIO VALDEZ HERNÁNDEZ³

México cuenta con aproximadamente 64 000 000 de ha de bosques de clima templado y selvas que abarcan el 32% del territorio nacional, adicionalmente el país cuenta con 56 000 000 de ha de matorrales y cerca de 2 000 000 ha de vegetación hidrófila de gran importancia para el país desde el punto de vista ambiental, económico y social. Se estima que tales recursos constituyen 2 312 000 m³ de existencias maderables calculadas al 2004.¹

El estado de Guerrero y su Costa Grande

El estado de Guerrero (Fig. 1a) ocupa el cuarto lugar en biodiversidad a nivel nacional,² está constituido por siete regiones (Fig. 1b), algunas de ellas atravesadas por la Sierra Madre del Sur, barrera montañosa que se eleva a más de 3 000 metros sobre el nivel del mar y es paralela a la costa del Océano Pacífico. De las siete regiones, Costa Grande es la que mayor extensión territorial posee (14 710.70 km²), se conforma por ocho municipios (Fig. 1c) y cuenta con una superficie forestal de 610 000 ha, donde se localizan selvas bajas caducifolias, selvas medianas subcaducifolias, encinares, pinares, bosques caducifolios y de oyamel^{4, 5, 6} (Fig. 2 y 3).

Antecedentes del aprovechamiento

El crecimiento industrial que había en el país tuvo en Costa Grande uno de sus principales abastecedores de postes y durmientes para ferrocarril durante las décadas 1940 y 1950; de 1970 a 1986 la extracción alcanzó 198 000 m³/año generada por madereros particulares y 105 000 m³/año por la Forestal Vicente Guerrero (FOVIGRO). Esta empresa paraestatal sólo duró quince años, ya que en 1987 fue cerrada.⁷

La creación de FOVIGRO cumplió parcialmente con sus objetivos pues no se aprovechó integralmente el potencial maderable existente, no hubo repercusión económica en la población local y tuvo una nula autogestión para el manejo.⁸

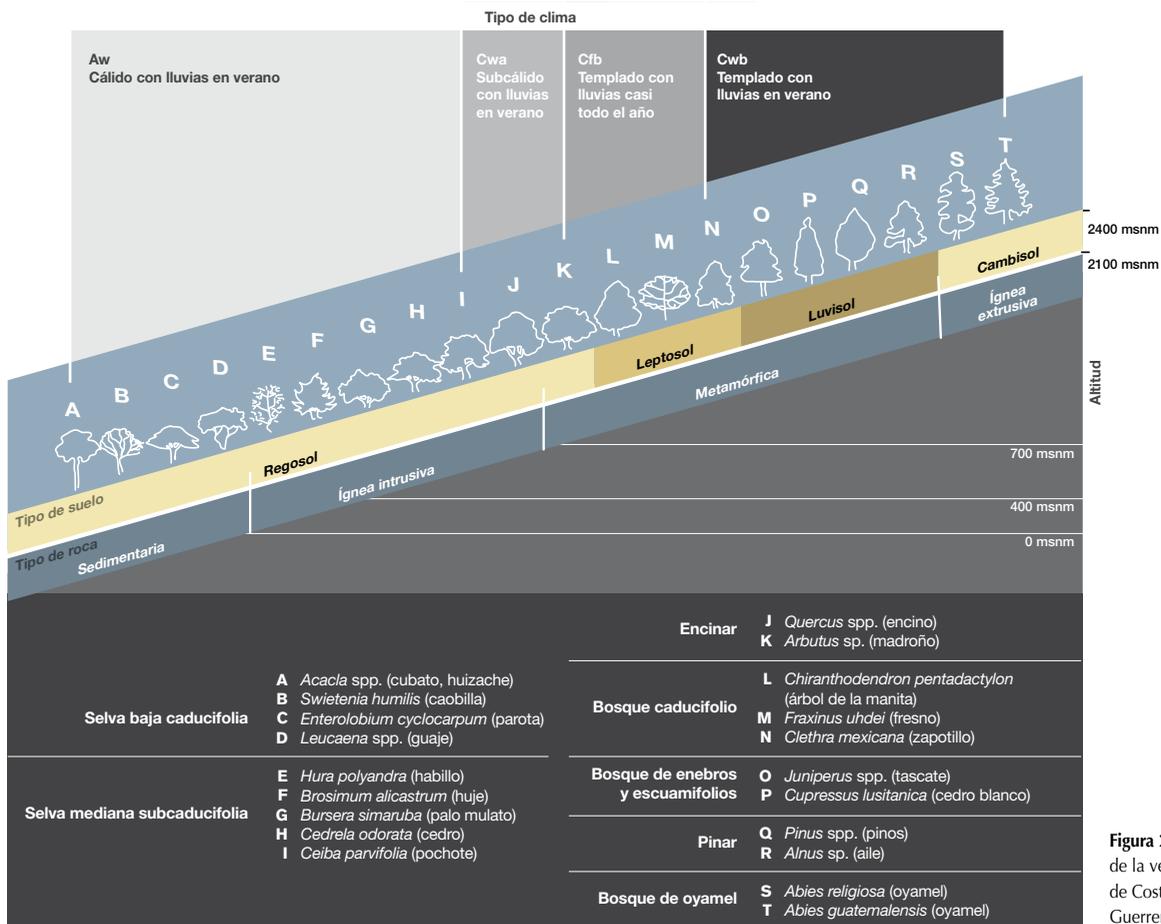


Figura 2. Perfil sintético de la vegetación terrestre de Costa Grande, Guerrero.

Fuentes: INEGI (2011b),⁴ Miranda y Hernández (1963),⁵ García (1987)⁶.

En 1983, en la búsqueda de opciones que incentivarán la actividad forestal, el gobierno federal estableció un convenio con la Universidad de Helsinki, para generar un programa para el Desarrollo Forestal Integrado de Guerrero, cuyas conclusiones fueron que Costa Grande contaba con el mayor potencial maderable comercial y que era necesaria la rectificación de los planes de corta y la permanencia de árboles semilleros o “padres” para inducir la regeneración exitosa de especies de pino.⁹

En la década de los noventa se rentaron los bosques a empresas como la canadiense Boise Cascade, que aprovechaba la madera de veinte ejidos y planeaba exportar 20 000 000 m³ en sus primeros cinco años de operación¹⁰. La misma empresa abandonó la región debido a la presión de la opinión pública en sus prácticas de corta y por no poder cumplir con los requerimientos de producción que le solicitaban desde Estados Unidos y Canadá, países que le impusieron restricciones debido a que no respetaba sus respectivas legislaciones ambientales.¹¹

En el fomento actual de la actividad forestal se tiene el respaldo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), que ha impulsado el Ordenamiento Territorial Integral (OTI) como una herramienta esencial para planear el desarrollo comunitario, establecer los usos comunes de los recursos naturales y fomentar su conservación. Estas iniciativas buscan la autogestión de los núcleos agrarios y su fortalecimiento, mejorar los esquemas de manejo y control, la formación de empresas sociales y el aumento del nivel de vida de los pobladores.¹²

Durante los últimos diez años se ha estimado un volumen maderable de hasta 93 186 m³ (2000) y 40 823 m³ (2004) para la región. Como se observa, la tendencia en la producción presenta varios episodios de decremento. Estos datos toman en cuenta, además, lo que se obtuvo por manejo de bosques naturales; para 2008 se contempla el volumen producto de plantaciones forestales comerciales (5 629 m³) de especies introducidas (Fig. 4).

Figura 4. Volumen maderable de 1999 a 2009 en Costa Grande, Guerrero.

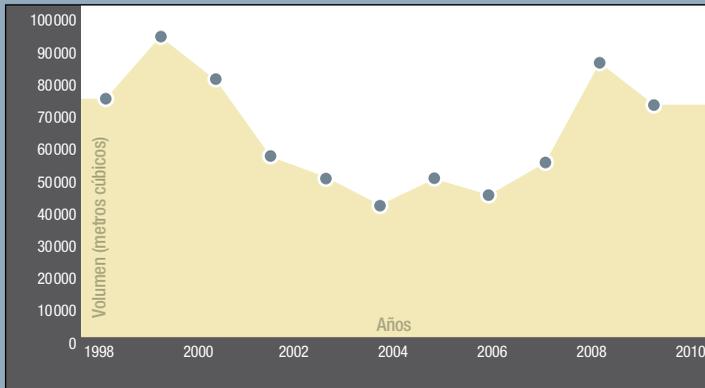


Figura 5. Superficie maderable aprovechada y autorizada por municipio en Costa Grande, Guerrero, en 2010

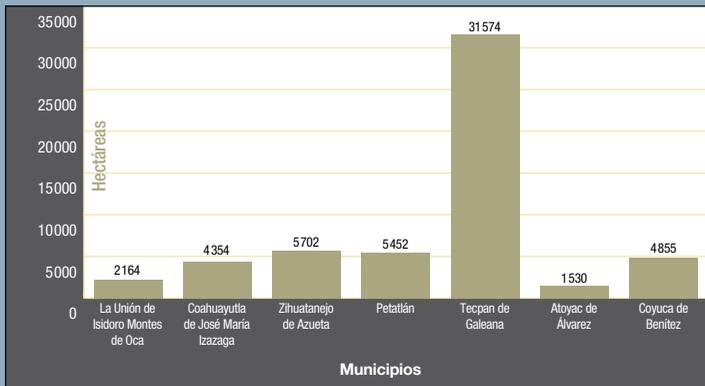
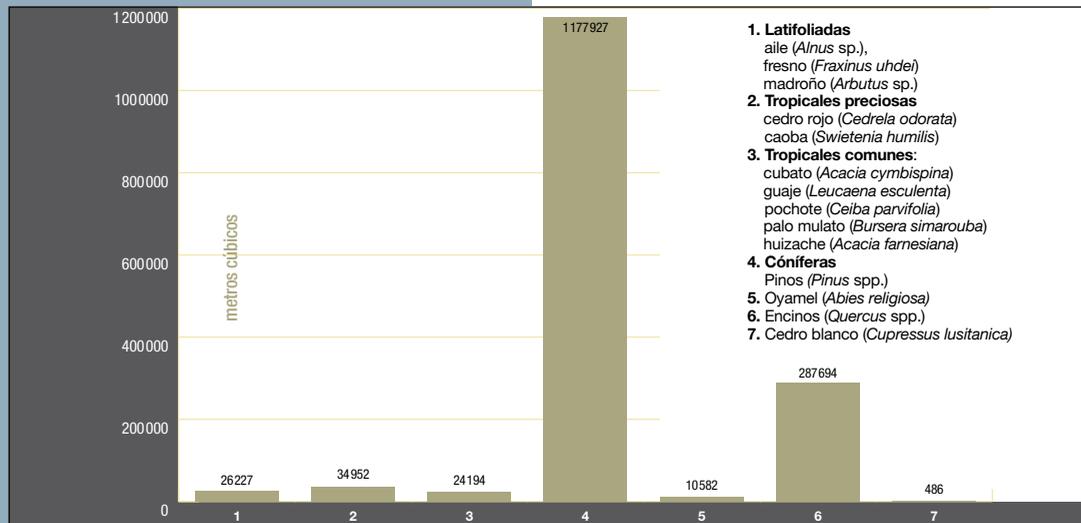


Figura 6. Volúmenes autorizados para el aprovechamiento maderable en Costa Grande, Guerrero.



- 1. Latifoliadas**
áile (*Alnus* sp.),
fresno (*Fraxinus uhdei*)
madroño (*Arbutus* sp.)
- 2. Tropicales preciosas**
cedro rojo (*Cedrela odorata*)
caoba (*Swietenia humilis*)
- 3. Tropicales comunes:**
cubato (*Acacia cymbispina*)
guáje (*Leucaena esculenta*)
pochote (*Ceiba parvifolia*)
palo mulato (*Bursera simarouba*)
huizache (*Acacia farnesiana*)
- 4. Cóniferas**
Pinos (*Pinus* spp.)
- 5. Oyamel** (*Abies religiosa*)
- 6. Encinos** (*Quercus* spp.)
- 7. Cedro blanco** (*Cupressus lusitanica*)

Situación actual del aprovechamiento

En Costa Grande, como en otras regiones del país, los aprovechamientos se basan en Planes de Manejo Forestal (PMF), los cuales son necesarios para la autorización de cortas en cualquier predio y su estructura está diseñada para comprometer a los ejidatarios, empresarios, Prestadores de Servicios Profesionales (PSP) y autoridades a hacer un buen uso de los bosques y selvas. El esquema de PSP sustituyó a las anteriores empresas paraestatales como FOVIGRO, de tal forma que los dueños del recurso contratan los servicios de un profesional que elabora un estudio técnico y financiero sobre las posibilidades de corta del bosque. El programa de manejo se presenta a la instancia regulatoria (SEMARNAT) para su autorización.

Hasta el año 2010 se documentan PMF en bosques naturales de pinos (*Pinus herrerae*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. maximinoi*, *P. ayacahuite*, *P. oocarpa*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. tenuifolia*), encinos (*Quercus martinezii*, *Q. uxoris*, *Q. salicifolia*, *Q. scytophylla*, *Q. crassifolia*, *Q. laurina*), oyameles (*Abies religiosa*), fresno (*Fraxinus udhei*), cedro blanco (*Cupressus lusitanica*) y aile (*Alnus acuminata*).¹³

La superficie total manejada fue de 56 651.58 ha; Tecpan de Galeana muestra la mayor extensión autorizada y Atoyac de Álvarez, la menor. El municipio Benito Juárez no participa en la actividad maderera debido a que no cuenta con superficie boscosa (Fig. 5).

El volumen total autorizado para 2010 fue de 1 583 038.44 m³ y destacó el género *Pinus* como el más aprovechado y el cedro blanco con el menor volumen (Fig. 6).

La madera es aserrada en cincuenta establecimientos distribuidos en los municipios. Los productos que se obtienen del aprovechamiento son: escuadría (Cuadro 1) (68%), madera en rollo (12%), cuarterones (15%) y tableros de triplay (5%)¹³ (Figs. 7 y 8).

La participación en la producción maderable por plantaciones comerciales se centra principalmente en eucalipto (*Eucalyptus* spp.), paulonia (*Pawlonia elongata*), cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*) y pino (*Pinus* spp.), que se destinan para elaborar papel. El cedro rojo (*Cedrela odorata*) y pino (*Pinus* spp.) se emplean para cajas de embalaje, muebles, puertas y ebanistería¹⁴ (Fig. 9).

Los derivados de escuadría están basados en el rubro industrial, decorativo, muebles y cimbra para la construcción (Cuadro 1). La madera en rollo se utiliza en postes de telefonía y en columnas de cons-

trucciones rurales. Cabe destacar que la fabricación de tableros aglomerados de pino representa 8% de la participación estatal.¹⁵

Noventa por ciento corresponde a la fabricación de muebles regionales y el restante a los demás usos. Rodríguez¹⁶ señala que para el municipio de la Unión de Isidoro Montes de Oca, la madera empleada para la fabricación de muebles se distribuye así: pino (*Pinus* spp.) 70%; encino (*Quercus* sp.) 14%; bocote (*Cordia elaeagnoides*) y parota (*Enterolobium cyclocarpum*), que se obtienen de forma clandestina, 16%.

Retos y oportunidades de desarrollo

Costa Grande es una región importante en el aporte de madera a nivel regional, estatal y nacional. En este sentido se han promovido diferentes iniciativas encaminadas al uso adecuado y conservación del recurso,



Figura 7. Trozas y piezas aserradas en Vallecitos de Zaragoza, Zihuatanejo de Azueta, Guerrero.

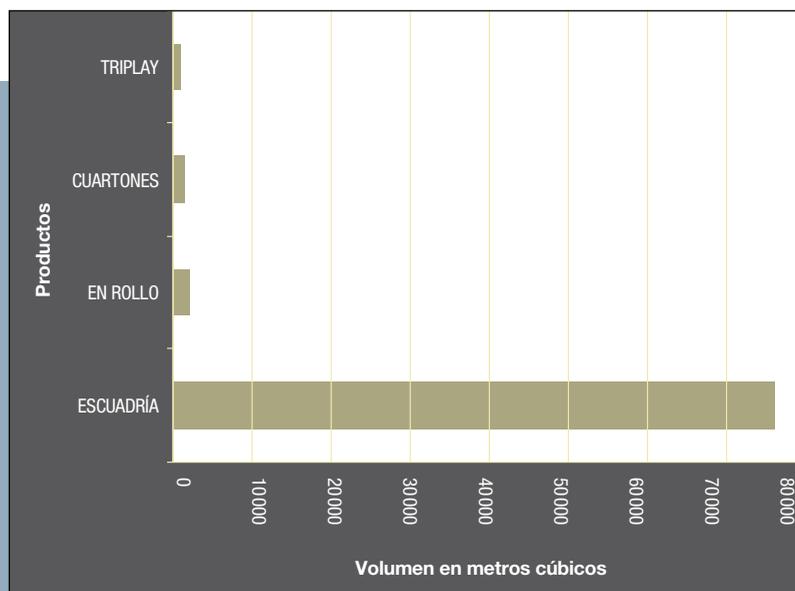
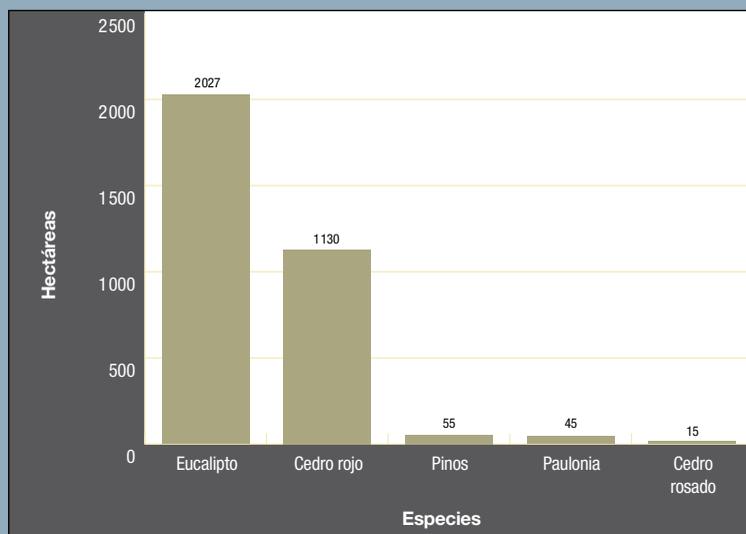


Figura 8. Volumen por tipo de producto maderable en Costa Grande, Guerrero.

Figura 9. Superficie de aprovechamiento maderable por plantaciones comerciales en Costa Grande, Guerrero.



Cuadro 1. Principales usos de la madera de escuadría de Costa Grande, Guerrero	
USOS	PORCENTAJE
Industrial (empaquetado y embalaje de frutas y legumbres)	30%
Molduras, marcos, paneles, pisos	20%
Construcción (cimbra)	20%
Muebles (camas, muebles, sillas)	30%
TOTAL	100%

además de que hay un cúmulo de experiencias que pueden incidir en el fortalecimiento de proyectos de manejo forestal en ejidos que no aprovechan sus bosques. Sin embargo no pueden generalizarse las soluciones, Morán *et al.*,¹⁷ en un estudio realizado en ocho ejidos de la Sierra Madre del Sur, mostraron que sólo cuatro ejidos cumplen con índices aceptables de sustentabilidad ambiental y financiera; y concluyen que los planes de manejo no aseguran la regeneración del bosque, la conservación de los suelos y de la biodiversidad, ni la rentabilidad de los aprovechamientos.

El Consejo Mexicano para la Silvicultura Sostenible desarrolló en 2008 el plan estratégico estatal del sector para el periodo 2007-2030. En él se enfatiza que, además del manejo silvícola, es necesario que se incorporen las selvas al aprovechamiento maderable y no maderable, se establezcan plantaciones forestales con especies nativas y se implementen sistemas agroforestales. Tomando en cuenta que la industria forestal local tiene una larga tradición, debe hacerse un esfuerzo para que la producción aumente o se mantenga en los volúmenes descritos, ya que de lo contrario puede significar problemas con la regeneración de los bosques.

En lo que corresponde a la producción, Naranjo *et al.*¹⁸ consideran que el hecho de estar basada mayoritariamente en pinos se debe a que las tec-

nologías para el manejo y procesamiento de otras especies no son las adecuadas, aun cuando hay información sobre la anatomía y/o propiedades tecnológicas de encinos,^{19, 20} enebros^{21, 22} y tropicales,^{23, 24, 25} además de que prevalece la extracción ilícita. Debe agregarse que la actividad forestal no ha tenido un impacto socioeconómico en el desarrollo regional pues aún no se ha consolidado, por lo que únicamente las ciudades son los polos de desarrollo. Por ello hacen falta cadenas de abastecimiento y servicios que no son favorecidos por los caminos rurales intransitables durante la temporada de lluvias.²⁶ A ello se suman aspectos desatendidos como la educación, salud, cultura.²⁷

Hay ejemplos de manejo forestal integrado como la experiencia del ejido El Balcón que, aunque regionalmente no pertenece a Costa Grande, involucra a otros ejidos costeros en la integración de su cadena productiva. El Balcón está certificado como un ejido forestalmente sustentable y ha logrado la instalación de una fábrica de muebles y tableros que arroja una derrama económica importante en Tecpan de Galeana, Petatlán y Zihuatanejo de Azueta. Su esquema de manejo ha permitido atender la demanda de bienes para el sector gubernamental nacional y expandir sus productos a mercados internacionales.^{28, 29}

Bibliografía

- Torres, R.J.M. 2004. "Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al 2020. Informe Nacional México". Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/docrep/006/j2215s/j2215s00.htm>.
- Mittermeier, R.A., y C. Goettsch. 1992. *La importancia de la diversidad biológica de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad, México.
- INEGI. 2011a. Biblioteca digital. Anuario estadístico del esta-

- do de Guerrero. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/.../espanol/.../Default.asp
- ⁴ INEGI. 2011b. Estadísticas municipales. Dirección de Estadística Municipal. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/12/12038.pdf>
- ⁵ Miranda, F., y E. Hernández X. 1963. "Los tipos de vegetación de México y su clasificación", en *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-179.
- ⁶ García, E. 1987. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- ⁷ Bustamante, A.T. 2003. *La tragedia de los bosques de Guerrero. Historia ambiental y las políticas forestales*. Fontamara, México.
- ⁸ Baca, C.J.C. 1984. *Situación forestal del estado de Guerrero*. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. México.
- ⁹ Cortés, A.A. 1990. *Diagnóstico del plan integral forestal del ejido Las Compuertas en Coyuca de Benítez, Guerrero*. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. México.
- ¹⁰ Menotti, V. 1998. "Globalization and the Acceleration of Forest Destruction since Rio", en *The Ecologist* 28:354-361.
- ¹¹ Camacho, J. 2003. *Lumbre en el monte. La historia de Rodolfo Montiel y la lucha de los campesinos ecologistas de Guerrero. Itaca-La Jornada*, México.
- ¹² Mendoza, Z.J.A., H. Ferreira D., G. Chapela M., A. González Ríos L., L. Barrera M., F. A. Molina R., A. López A., L. Moreno A., J. L. Viveros, M. C. Rojas C., H. Oyarzabal H., J. Rodríguez S., P. Francisco G., A. García A., M. Carmona A., Centro Geo, Grupo de Economistas Asociados. 2009. "Caminos rurales para el desarrollo territorial sustentable de la Sierra de Guerrero", en *Construyendo el desarrollo rural integral y sustentable en Guerrero*, vol. III. Gobierno del Estado de Guerrero-FAO, México, pp. 62-126.
- ¹³ SEMARNAT. 2010a. *Aprovechamientos maderables para el estado de Guerrero*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Delegación Guerrero, Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos, México.
- ¹⁴ SEMARNAT. 2010b. *Autorizaciones de plantaciones forestales comerciales*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Delegación Guerrero, Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México.
- ¹⁵ Rodríguez, P.A. 2009. *Caracterización de la fabricación de muebles de madera en el municipio La Unión del estado de Guerrero*. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- ¹⁶ Morán, M.M., F. Carrera G., J. J. Campos A., L. Bastiaan, D. Delgado y G. Galloway. 2008. "Evaluación de la sostenibilidad del manejo forestal comunitario en ejidos del estado de Guerrero", en <http://web.catie.ac.cr/informacion/RFC/rev49-50/Pages%20124-130.pdf>
- ¹⁷ Consejo Mexicano para la Silvicultura Sostenible. 2008. "Programa estatal forestal de Guerrero 2007-2030. Estrategias del sector", en <http://www.cmss.org.mx/proyectos.php>.
- ¹⁸ Naranjo, E.J., R. Dirzo, J. C. López A., J. Rendón V., A. Reuter y O. Sosa N. 2009. "Impacto de los factores antropogénicos de afectación directa a las poblaciones silvestres de flora y fauna", en *Capital natural de México*, Vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad, México, pp. 242-276.
- ¹⁹ De La Paz Pérez, O.C., R. Dávalos S. y E. Guerrero C. 2000. "Aprovechamiento de la madera de encino en México", en *Madera y Bosques* 6(1):3-13.
- ²⁰ De La Paz Pérez, O.C., y R. Dávalos S. 2008. "Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México", en *Madera y Bosques* 14(3):43-80.
- ²¹ Rodríguez, R., J. y J. Huerta C. 1995. "Usos industriales de la madera de *Juniperus*", en *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 4(1):27-30.
- ²² Borja de la Rosa, A., R. Machuca, M. Fuentes S., D. Ayerde L., M. Fuentes L. y A. Quintero A. 2010. "Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. Poblana Martínez", en *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 11(1):73-82.
- ²³ Rebollar, D.S., C. de La Paz Pérez O. y A. Quintanar I. 1996-1997. "Anatomía de la madera de ocho especies de la selva mediana subperennifolia de Quintana Roo, México", en *Revista de Biología Tropical* 44(3)/45(1):67-77.
- ²⁴ Navarro, M.J., A. Borja de la R. y R. Machuca V. 2005. "Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero", en *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1): 73-82.
- ²⁵ Bárcenas, P.G., F. Ortega E., G. Ángeles Á. y P. Ronzón P. 2005. "Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas", en *Universidad y Ciencia* 21(42):45-55.
- ²⁶ Lambert, D.P. 1994. "Regional Core-periphery Imbalance: The Case of Guerrero, Mexico, since 1821", en <http://sites.maxwell.syr.edu/clag/yearbook1994/lambert.pdf>
- ²⁷ Rodríguez, H.A. 2004. "Las relaciones humano ambientales en el filo mayor de la Sierra de Guerrero", en http://www.uaemex-mx/Red_ambientales/docs/memorias/Extenso/MR/EO/MRO-04.pdf.
- ²⁸ Cruz, M.G., C. Méndez, y Z. Garnica. 2008. *Informe de evaluación para la certificación del manejo forestal de: Ejido el Balcón en Ajuchitlán del Progreso, Guerrero*. Oficina Regional Smartwood, Oaxaca, México.
- ²⁹ Torres, R.J.M., S. Guevara A. y D. Barton B. 2000. "La economía de la administración del manejo comunitario forestal en México: un estudio de caso en El Balcón, Tecpan, Guerrero", en *Experiencia de las comunidades forestales en México. Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Consejo Mexicano para la Silvicultura Sostenible-Fundación Ford, México, pp. 341-373.
- ¹ Programa de Doctorado en Ciencias Biológicas. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. elherrera2001@yahoo.com.mx
- ² Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera. Departamento de Biología. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. cppo@xanum.uam.mx
- ³ Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. ignacio@colpos.mx

Características tecnológicas de la madera de dos especies de Costa Grande, Guerrero, México

Technological characteristics of two wood species from Costa Grande, Guerrero, México

Elizandro Pineda-Herrera¹, Carmen de la Paz Pérez-Olvera²,
Raymundo Dávalos-Sotelo³ y Juan Ignacio Valdez-Hernández⁴

RESUMEN

Se describen las características anatómicas, físicas, mecánicas y tiempo de secado al aire libre de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y *Hura polyandra* Baill., recolectadas en una selva mediana subcaducifolia de Zihuatanejo de Azueta, Guerrero, México. Para la descripción anatómica se utilizaron tablas de 15 cm x 7 cm x 1 cm y preparaciones fijas de cortes de 20 mm de grosor, ambas en secciones transversales, tangenciales y radiales y preparaciones de material disociado. Para los ensayos físicos y mecánicos se emplearon probetas libres de defectos de diferentes dimensiones a un contenido de humedad de 12%. De cada característica se hizo un análisis estadístico y se clasificaron de acuerdo con la media. Para el secado al aire libre se acomodaron tablones y prismas en una pila. Las especies presentan vasos de diámetro mediano, radios uniseriados, extremadamente bajos y fibras de longitud mediana de diámetro fino. Presentan diferencias en el número de poros y la longitud de los vasos, en el número y anchura de los radios, en el grosor de la pared de las fibras y en la anchura de los anillos de crecimiento. En las propiedades físicas, difieren en la densidad, en su coeficiente de anisotropía y en el punto de saturación de la fibra. Las contracciones son bajas, excepto la radial de *E. cyclocarpum* que es muy baja; esta especie es poco estable y *H. polyandra* es muy estable. Los valores de las propiedades mecánicas y el tiempo de secado son diferentes entre ambas especies.

PALABRAS CLAVE:

Enterolobium cyclocarpum, *Hura polyandra*, selva mediana subcaducifolia, madera secada.

ABSTRACT

The anatomical, physical, and mechanical features, and drying time of wood from *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (Parota, Mimosoideae, Leguminosae) and *Hura polyandra* Baill. (Habillo, Euphorbioideae, Euphorbiaceae) collected in a semideciduous forest of Zihuatanejo de Azueta, Guerrero, Mexico, are described. For the anatomical description, pieces of 15 cm x 7 cm x 1 cm and slides 20 mm-thick, in transverse cross-section, tangential and radial directions and preparations of dissociated material were used. For the physical and mechanical tests small clear specimens of various dimensions, conditioned to a moisture content of 12%, were utilized. For each feature measured, univariate statistical analyses were performed and results were classified according to the mean. For air drying time tests, boards and prisms were placed in a stack with spacers between them. The species have medium diameter vessels, extremely low uniseriate rays, and medium length fibers

- 1 Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. C. e.: elherrerera2001@yahoo.com.mx
- 1,2 Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.
- 3 Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz.
- 4 Colegio de Postgraduados, Montecillo. Estado de México.

of fine diameter. They differ in the number of pores and the length of the vessels, the number and width of rays, on the wall thickness of fibers and the width of the growth rings. For the physical properties, shrinkage values are low, except the radial shrinkage for *E. cyclocarpum*, which is very low. This species is dimensionally not stable whereas *H. polyandra* is highly stable. There are significant differences between species in the mechanical values and the drying time.

KEYWORDS:

Enterolobium cyclocarpum, *Hura polyandra*, deciduous tropical forest, air dried wood.

INTRODUCCIÓN

Las selvas secas en México cubren alrededor de 11,26% del territorio nacional, dividiéndose en: selvas bajas caducifolias, selvas bajas subcaducifolias, selvas medianas caducifolias y selvas medianas subcaducifolias (INEGI, 2005). Se distribuyen desde Sonora hasta Chiapas, en la Vertiente del Golfo en Tamaulipas, San Luis Potosí, porción central de Veracruz y norte de la Península de Yucatán. Están ampliamente representadas en la Cuenca del Balsas (Pennington y Sarukhán, 2005), de forma general se caracterizan por presentar un periodo de secas marcado de noviembre a mayo.

La región de Guerrero, denominada Costa Grande, es la de mayor extensión estatal (14711 km²) y está conformada por siete municipios: Atoyac de Álvarez, Coahuayutla de José María Izazaga, Coyuca de Benítez, La Unión de Isidoro Montes de Oca, Tecpan de Galeana, Petatlán y Zihuatanejo de Azueta, en la cual se encuentran altitudinalmente selvas bajas caducifolias (0 m a 380 m) y selvas medianas subcaducifolias (380 m a 650 m) (Pineda *et al.*, 2012). Entre las especies arbóreas representativas de la región están: *Enterolobium cyclocarpum* (parota) y *Hura polyandra* (habillo).

Rodríguez (2009) menciona que en el municipio de La Unión de Isidoro Montes de Oca, *E. cyclocarpum* tiene una participación de 16% en la industria del mueble, pero la madera se obtiene de forma clandestina. Para *H. polyandra* no se conocen usos regionales. Morán *et al.* (2008), en su estudio de algunos ejidos de Costa Grande, resaltan la necesidad de generar información que apoye a los tomadores de decisiones del sector forestal, así como difundir las ventajas socioambientales de manejar las selvas y los bosques de la región.

La madera de parota en otros estados es valorada para: artesanías, canoas, carpintería, carretas, construcciones rurales, chapa, decoración de interiores, duela, ebanistería, embarcaciones, lambrín, madera aserrada, muebles, paneles, postes, ruedas de carretas, triplay y utensilios de cocina (Robles, 1978; Guridi, 1980; Pennington y Sarukhán, 2005; Silva, 2008; Román *et al.*, 2011).

La madera de habillo es valorada para artesanías, carpintería, construcciones rurales, chapas, embalajes, mangos para herramientas, muebles y triplay (Pennington y Sarukhán, 2005; Silva, 2008; Román *et al.*, 2011).

Estos usos están sustentados en estudios anatómicos, físicos y mecánicos de la madera de ambas especies. *Enterolobium cyclocarpum* se ha estudiado en ejemplares de selvas húmedas de la vertiente del Golfo por Cárdenas (1971); Robles (1978), Corral (1985) y González *et al.* (2004). De selvas secas de la vertiente del Pacífico se conoce la investigación de Guridi (1980), quien describe las características macroscópicas de la madera.

Zavala (2000), en su estudio sobre especies tropicales, presenta el programa

de secado de *E. cyclocarpum*, considerándola con buenos resultados. Silva (2008) la considera moderadamente difícil de secar al aire libre ya que presenta deformaciones importantes; el mismo autor indica que *Hura polyandra* es difícil de secar, tanto al aire libre como en estufa. La importancia del secado es que permite que la humedad de la madera esté en equilibrio con la humedad del ambiente, para que no haya problemas durante su servicio.

OBJETIVO

Determinar las características anatómicas, físicas, mecánicas y tiempo de secado al aire libre de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* (parota) y *Hura polyandra* (habillo) de una selva mediana subcaducifolia de Costa Grande, Guerrero.

METODOLOGÍA

El material de estudio se recolectó en una selva mediana subcaducifolia de la localidad Los Varillos (17° 53' 58" N, 101° 26' 68" O), perteneciente al ejido La Laja y anexos, del municipio de Zihuatanejo de Azueta, Costa Grande, Guerrero, a una altura de 440 msnm (Fig. 1). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw1) (INEGI, 2005) con una precipitación anual entre 1100 mm y 1500 mm y temperatura promedio de 28 °C (SMN, 2012). Con respecto a la geomorfología de Los Varillos, se trata de una meseta rodeada por laderas con pendientes pronunciadas y lomeríos moderados. Las rocas son ígneas extrusivas y metamórficas del Cenozoico superior. Los suelos, de origen volcánico, son: Cambisoles, Luvisoles, Leptosoles y Regosoles (INEGI, 2009).

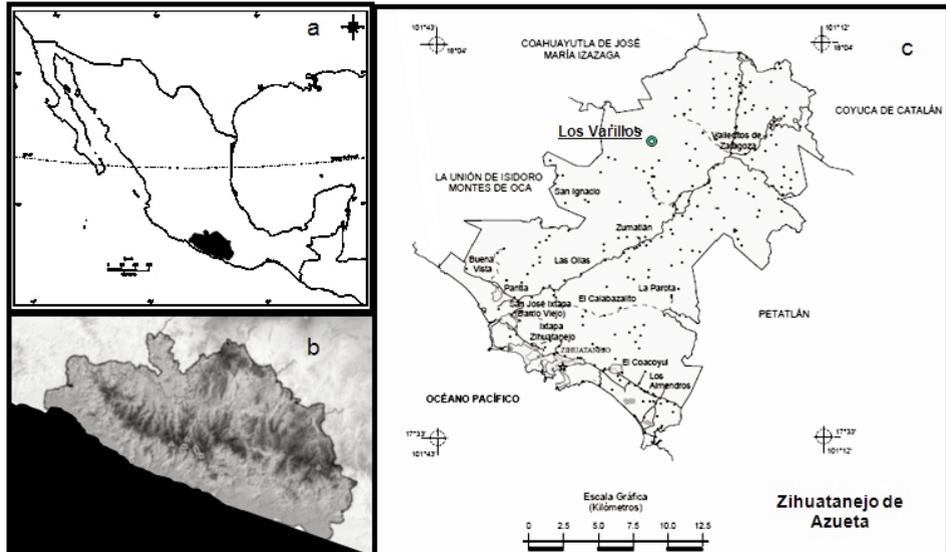


Figura 1. Zona de estudio a. México. b. Estado de Guerrero. c. Los Varillos.

Estas selvas se caracterizan porque la temporada seca puede durar de 7 a 8 meses; fisonómicamente la altura de los árboles va de 7 m a 25 m y en promedio es de 15 m. Algunas de las especies encontradas son: *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, *Hura polyandra* Baill., *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Licania arborea* Seem. y *Bursera instabilis* McVaugh & Rzed.

Se recolectaron dos árboles por especie con una altura total aproximada de 8 m y de 30 cm a 35 cm de diámetro cada uno. De cada árbol se obtuvieron cuatro trozas de base a copa, la primera de 1,30 m se utilizó para el estudio anatómico y las otras tres de 1,20 m para los ensayos físicos, mecánicos y de secado (Fig. 2).

De las trozas para anatomía se obtuvieron tablillas transversales, tangenciales y radiales de 15 cm x 7 cm x 1 cm para describir las características macroscópicas de acuerdo con Tortorelli (1956), para el color se utilizaron las tablas de Munsell (1990). Las tablillas transversales se obtuvieron de cuatro rodajas de 1 cm de grosor cortadas a la altura de 1,26 m. Para el estudio microscópico se cortaron dos rodajas a la altura de 1,30 m, de las que se obtuvieron cubos que se ablandaron a ebullición en agua destilada por 24 h para *E. cyclocarpum* y 42 hrs para *H. polyandra*. De los cubos se obtuvieron cortes transversales, tangenciales y radiales de 20 μ m de grosor en un microtomo de deslizamiento en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa.

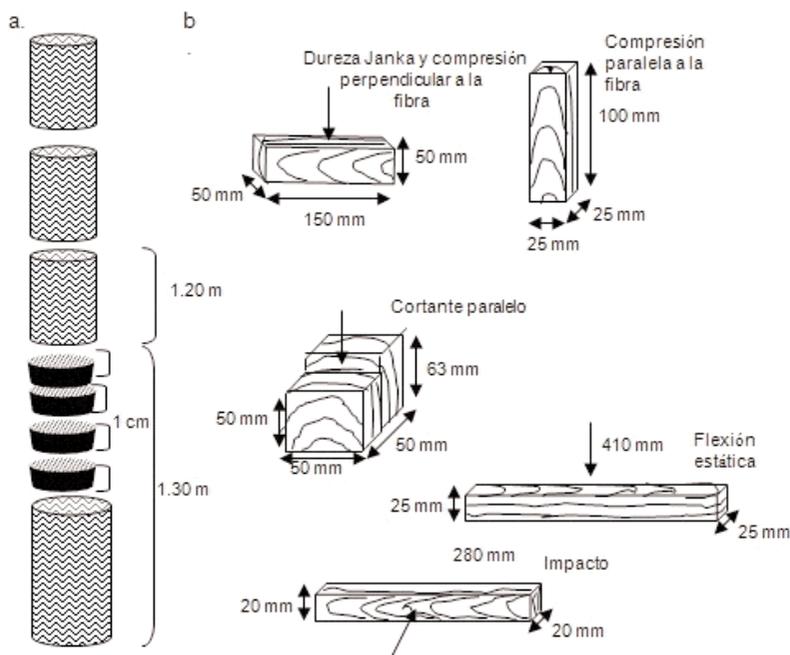


Figura 2. Material de estudio. a. Trozas y rodajas para anatomía, pruebas físicas, mecánicas y tiempo de secado. b. Probetas para ensayos mecánicos.

Los cortes se tiñeron con fucsina básica al 0,05% durante 30 segundos y después en azul astra al 0,5% durante dos minutos. Se deshidrataron en una serie gradual de alcoholes del 50%, 70%, 85%, 96% y 100%. Después de deshidratados se les puso una gota de aceite de clavo por dos minutos para mayor contraste, posteriormente se colocaron en una mezcla de clavo con xilol, se pasaron por xilol y se montaron con resina sintética (Sandoval, 2005).

De los mismos cubos se cortaron pequeñas astillas para obtener material disociado con una mezcla de ácido acético, ácido láctico, ácido nítrico y glicerina, se tiñeron con Pardo de Bismarck y se montaron con gelatina glicerizada de acuerdo a Johansen (1940). Se realizaron 25 mediciones por carácter y por árbol, los que se sometieron a un análisis estadístico y se clasificaron con base en la media de acuerdo con Chattaway (1932) y con IAWA Committee (1937, 1939, 1989) (tablas 1 y 2). Los elementos no mensurables se describieron con base en

IAWA (1964) y los cristales de acuerdo con Chattaway (1955).

Las trozas para el material destinado a ensayos físicos y mecánicos, se trasladaron a las instalaciones del Instituto de Ecología, A.C. en Xalapa, Ver. De dichas trozas se cortaron tabloncillos tangenciales y radiales de 0,03 m x 0,12 m x 1,20 m y prismas de 0,06 m x 0,06 m x 1,20 m, para medir el tiempo de secado y posteriormente elaborar los especímenes para los ensayos físicos y mecánicos. Para el secado al aire libre, a un contenido de humedad de 16%, que es el promedio del obtenido en las condiciones de humedad relativa y temperatura del ambiente en la región centro del Golfo de México; para el periodo de elaboración de las probetas se acomodaron los tabloncillos y los prismas en una pila elevada sobre el piso de 1,35 m de largo x 1,20 m de ancho x 1,50 m de altura, con separadores entre las capas de madera permitiendo la circulación libre del aire en torno a cada una y se cubrieron para evitar que estuvieran directamente expuestas al sol y a la lluvia (Fig. 3).

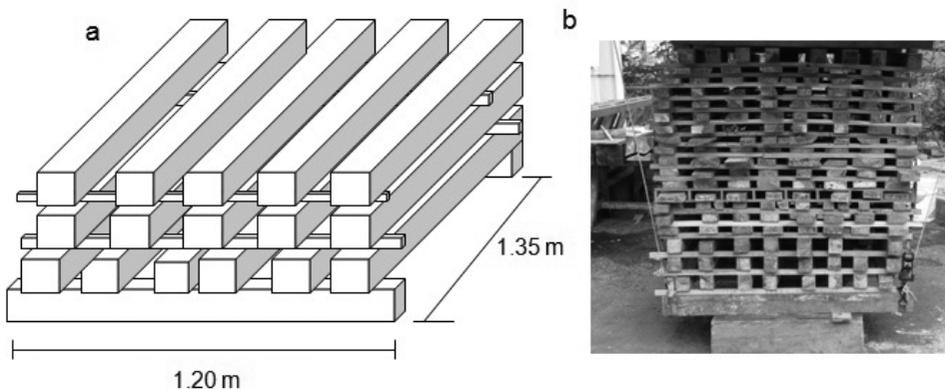


Figura 3. Arreglo de prismas y tablas en la pila de secado al aire libre. a. Dimensiones de la pila en el plano horizontal. b. Vista frontal.

Tabla 1. Características anatómicas mensurables de *E. cyclocarpum*.

VASOS		
Poros		Elementos vasculares
Núm. / mm ²	Diámetro tangencial, μm	Longitud, μm
muy pocos X = 1 Mín = 1 Máx = 4	mediano X = 141 Mín = 60 Máx = 210	muy cortos X = 220 Mín = 80 Máx = 400
RADIOS		
Núm. de series uniseriados	Núm. / mm	Altura, μm
X = 1 Mín = 1 Máx = 2	pocos X = 4 Mín = 2 Máx = 6	extremadamente bajos X = 129 Mín = 60 Máx = 203
FIBRAS		
Longitud, μm	Diámetro, μm	Grosor, μm
mediana X = 1067 Mín = 750 Máx = 1775	fino X = 13 Mín = 9 Máx = 18	delgado X = 3 Mín = 2 Máx = 3
		ANILLOS DE CRECIMIENTO, mm
		conspicuos 10 a 25

Tabla 2. Características anatómicas mensurables de *H. polyandra*.

VASOS			
Poros		Elementos vasculares	
No. / mm ²	Diámetro tangencial, µm	Longitud, µm	
pocos X = 4 Mín = 1 Máx = 6	mediano X = 122 Mín = 60 Máx = 170	medianos X = 413 Mín = 200 Máx = 600	
RADIOS			
No. de series uniseriados	No. / mm	Altura, µm	Anchura, µm
X = 1 Mín = 1 Máx = 2	moderadamente numerosos X = 5 Mín = 3 Máx = 9	extremadamente bajos X = 192 Mín = 102 Máx = 291	muy finos X = 20 Mín = 14 Máx = 32
FIBRAS			
Longitud, µm	Diámetro, µm	Grosor, µm	
mediana X = 940 Mín = 650 Máx = 1325	fino X = 9 Mín = 7 Máx = 13	grueso X = 4 Mín = 2 Máx = 4	
ANILLOS DE CRECIMIENTO, mm			
Conspicuos			
2 a 15			

De los tablonés se obtuvieron las probetas para los ensayos físicos y de los prismas las probetas para determinar las propiedades mecánicas, basados en la norma ASTM (2005) (Fig. 2). Después del proceso de secado al aire libre, las tablas y prismas se acondicionaron en una cámara con condiciones controladas hasta alcanzar un contenido de humedad cercano al 12%. De cada probeta se obtuvieron muestras para la determinación de la densidad básica.

A cada propiedad se le hizo un análisis estadístico univariado, las propie-

dades físicas se clasificaron de acuerdo con la media con base en Echenique-Manrique *et al.* (1975) y Sallenave (1955) para el punto de saturación de la fibra; las propiedades mecánicas de acuerdo con Dávalos y Bárcenas (1999) (tablas 3 y 4). Las pruebas se hicieron en el Laboratorio de Investigación y Certificación de Productos Maderables del Instituto de Ecología, A.C., en una máquina universal de 250 kN de capacidad. Las pruebas de impacto se realizaron en una máquina para ensayos de tenacidad modelo FPL. La clasificación para tiempo de secado se desarrolló específicamente para este

Tabla 3. Características físicas de *E. cyclocarpum* y *H. polyandra*.

	<i>E. cyclocarpum</i>		<i>H. polyandra</i>	
Densidad básica, PA/VV	Muy liviana	0,29	Moderadamente pesada	0,48
Contracción tangencial, %	Baja	4,63	Baja	4,89
Contracción radial, %	Muy baja	1,83	Baja	2,97
Contracción volumétrica	Muy baja	6,46	Baja	7,86
Coefficiente de anisotropía	Poco estable	2,52	Muy estable	1,65
Punto de saturación de la fibra, %	Medio	33,4	Bajo	21,4

Tabla 4. Características mecánicas de *E. cyclocarpum* y *H. polyandra*.*

Propiedad mecánica	<i>E. cyclocarpum</i>		<i>H. polyandra</i>	
Dureza Janka lateral, kN	Suave	2,28	Muy dura	4,40
Dureza Janka longitudinal, kN	Suave	3,04	Muy dura	6,17
Módulo de ruptura en flexión (MOR), MPa	Flexible	41,4	Resistente	76,8
Módulo de elasticidad en flexión (MOE), GPa	Muy flexible	3,83	Moderadamente flexible	8,08
Esfuerzo máximo en compresión paralela, MPa	Poco resistente	26,1	Resistente	44,1
Módulo de elasticidad en compresión paralela (E), GPa	Muy flexible	3,93	Moderadamente flexible	8,70
Esfuerzo en el límite de proporcionalidad en compresión perpendicular, MPa	Poco resistente	3,47	Resistente	7,21
Esfuerzo máximo en cortante paralela, MPa	Moderadamente resistente	7,11	Muy resistente	11,6
Impacto (Tenacidad), J/m ³	Poco resiliente	0,222	Poco resiliente	0,264

*Valores ajustados al 12% de Contenido de humedad (ASTM, 1998)

trabajo, a partir de los datos registrados de variación diaria de contenido de humedad en proporción al contenido de humedad en equilibrio para el periodo en el que se hicieron los ensayos.

Las características botánicas, distribución geográfica y nombres comunes se consultaron en Pennington y Sarukhán (2005), a excepción de las medidas dasométricas y la distribución altitudinal que se obtuvieron directamente en la zona de estudio (Pineda *et al.*, 2012). Las muestras para anatomía se depositaron en la Xiloteca UAMIZ y los ejemplares botánicos se registraron en el Herbario Metropolitano UAMIZ Dr. Ramón Riba y Nava (Tabla 5).

RESULTADOS

Características botánicas, anatómicas, físicas, mecánicas y tiempo de secado de la madera

Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb. (Lámina 1, figs. a-f)

Características botánicas

Familia: Leguminosae Subfamilia: Mimosoideae.

Nombres comunes: Parota, guanacastle, orejón.

Distribución geográfica: En la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta la depresión Central de Chiapas; incluyendo la Cuenca del Balsas. En la vertiente del Golfo, desde el Sur de Tamaulipas hasta el Norte de Yucatán.

Distribución altitudinal: 0 m a 800 msnm.

Árbol hermafrodita, de 7 m a 25 m de altura y diámetros de 0,3 m a 1 m (DAP), corteza fisurada de color castaño rojizo (HUE 2.5YR 4/6), con numerosas lenticelas. Hojas compuestas, de hasta 40 cm de largo, bipinadas, con numerosos foliolos de 10 mm a 12 mm de largo. Flores en cabezuelas, blancas, 1,5 cm a 2 cm de diámetro. Fruto en vaina lignificada, en forma de media luna, de 7 cm a 12 cm de diámetro. Semillas ovoides y planas, de 1,5 cm a 2,3 cm de diámetro.

Características anatómicas

Macroscópicas (Lámina 1, figs. g-i)

La madera presenta diferencia de color entre albura y duramen, la albura es blanca (HUE 2.5Y8/2) y el duramen es castaño claro (HUE 7.5YR 6/4), sin olor ni sabor característicos, brillo mediano, veteado suave, textura fina e hilo oblicuo. Anillos de crecimiento conspicuos.

Tabla 5. Registro de las especies

Especie	Familia subfamilia	Nombres comunes	Registros UAMIZ	
			Xiloteca	Herbario
<i>E. cyclocarpum</i>	Leguminosae Mimosoideae	Parota, guanacastle, orejón	M-280 73423	M-281 73424
<i>H. polyandra</i>	Euphorbiaceae Euphorbioideae	Habillo, jabilla	M-282 73427	M-283 73428



Lámina 1. *Enterolobium cyclocarpum*. a. árbol. b. corteza. c. hoja. d. fruto. e. semillas. f. flor. Tablillas: g. transversal. h. tangencial. i. radial. Cortes: j. transversal (5x). k. tangencial (10x). l. radial (10x).

Microscópicas (Lámina 1, figs. j-l; Lámina 3, figs. a-c; Tabla 1)

La madera es de porosidad difusa, los poros son muy pocos, de diámetro tangencial mediano, la mayoría solitarios, algunos múltiples de 2 a 4. Los elementos vasculares son muy cortos, sus paredes tienen puntuaciones areoladas alternas, ovales, ornamentadas y platina de perforación simple. Algunos presentan gomas. El parénquima axial es paratraqueal vasocéntrico, de 6 a 15 células de anchura. Algunas células parenquimáticas presentan cristales prismáticos dentro de cámaras. Los radios son homogéneos, uniseriados, pocos, extremadamente bajos y extremadamente finos. Las fibras son de longitud mediana, diámetro fino y pared delgada. Los anillos de crecimiento

miden desde 10 mm hasta 25 mm de ancho, marcados por 2 a 4 hileras de fibras.

Características físicas (Tabla 3)

La madera es muy liviana, de contracción tangencial y volumétrica bajas y contracción radial muy baja, poco estable y salida de agua libre rápida.

Características mecánicas (Tabla 4)

La madera es suave, flexible, poco resistente a la compresión, moderadamente resistente al cortante y poco tenaz.

Características de secado al aire libre (Tabla 6)

Los resultados de la prueba de secado al aire libre para las dos especies estudiadas se muestran en la figura 4.

La madera es de secado rápido (tiempo de secado 25 días para alcanzar el CHE).

Hura polyandra Baill. (Lámina 2, figs. a-g)

Características botánicas

Familia: Euphorbiaceae. Subfamilia: Euphorbioideae.

Nombres comunes: Habillo, jabilla, haba de San Ignacio.

Tabla 6. Características de tiempo de secado de *E. Cyclocarpum* y *H. polyandra*.

	<i>E. cyclocarpum</i>	<i>H. polyandra</i>
Contenido de humedad inicial, %	154	70
Contenido de humedad final, %	16	16
Tiempo de secado, días	25 (rápido)	35 (lento)

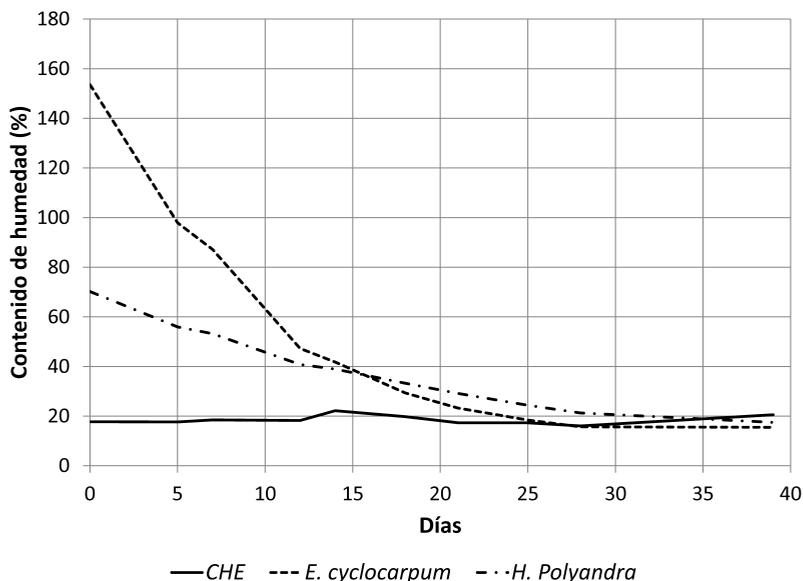


Figura 4. Curvas de secado para especies estudiadas

Distribución geográfica: En la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta la depresión central y norte de Chiapas, incluyendo la Cuenca del Balsas. En la vertiente del Golfo desde el sureste de San Luis Potosí hasta el norte de Quintana Roo.

Distribución altitudinal: 150 m a 1000 msnm

Árbol monoico, de 7 m a 25 m de altura y diámetros de 0,30 m a 1 m (DAP), corteza lisa de color castaño claro (HUE 7.5 YR 6/3) con numerosas espinas. Hojas simples, de hasta 17 cm de largo, ovadas a orbiculares. Flores masculinas en espiga de 12 cm a 16 cm de largo, las femeninas solitarias en pedúnculos de

6 cm a 7 cm de largo. Fruto en cápsula multivalvada y lignificada de 5 cm x 10 cm de diámetro, cubierta con abundantes lenticelas. Semillas circulares y planas, de 3 cm de diámetro.

Características anatómicas

Macroscópicas (Lámina 2, figs. h-j)

La madera presenta diferencia de color entre albura y duramen, la albura es blanca (HUE 2.5Y 8/2) y el duramen es castaño claro (HUE 7.5YR 6/3), sin olor ni sabor característicos, brillo mediano, veteado suave, textura fina e hilo recto. Anillos de crecimiento conspicuos.



Lámina 2. *Hura polyandra*. a. árbol. b. corteza. c. hoja. d. flor masculina. e. flor femenina. f. fruto. g. semillas. Tablillas: h. transversal. i. tangencial. j. radial. Cortes: k. transversal (5x). l. tangencial (10x). m. radial (10x).

Microscópicas (Lámina 2, figs. k-m; Lámina 3, figs. d-f; Tabla 2)

La madera es de porosidad difusa, los poros son pocos, de diámetro tangencial mediano, la mayoría múltiples de 4 a 6, algunos solitarios. Los elementos vasculares son medianos, sus paredes con puntuaciones areoladas alternas, ovales y platina de perforación simple. Algunos presentan tílides. El parénquima axial es apotraqueal en bandas, de una hilera de células de ancho. Algunas células parenquimáticas presentan cristales prismáticos dentro de cámaras. Los radios son

homogéneos, uniseriados, moderadamente numerosos, extremadamente bajos y muy finos. Las fibras son de longitud mediana, diámetro fino y pared gruesa. Los anillos de crecimiento miden de 2 mm a 15 mm de ancho, marcados por 3 a 4 hileras de fibras.

Características físicas (Tabla 3)

La madera es moderadamente pesada, de contracciones bajas, muy estable y salida de agua libre lenta.

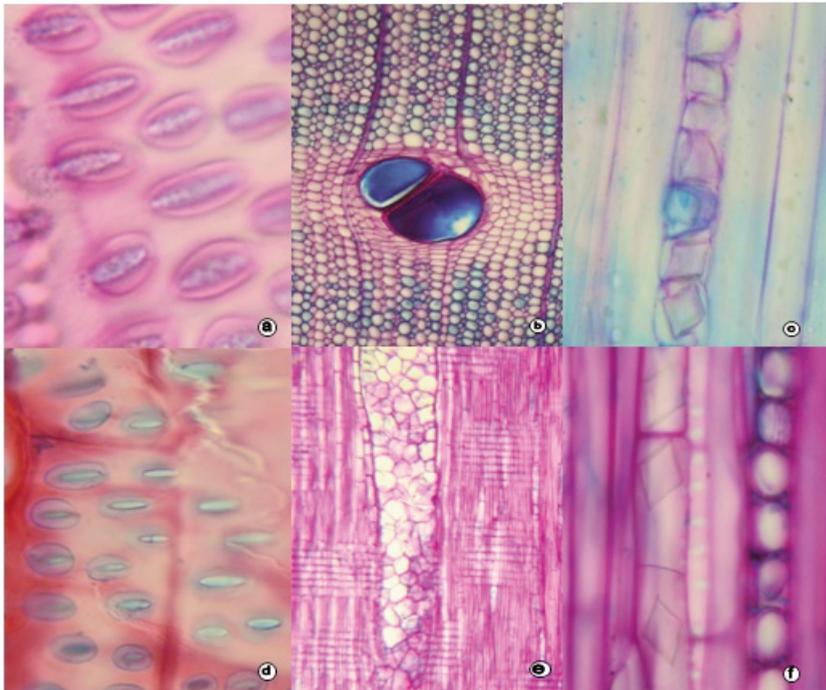


Lámina 3. Puntuaciones y contenidos celulares de las especies. a-c. *Enterolobium cyclocarpum*. a. Puntuaciones areoladas ornamentadas en vasos (100x). b. Gomas en vasos (20x). c. Cristales prismáticos en parénquima (40x). d-f. *Hura polyandra*. d. Puntuaciones areoladas no ornamentadas en vasos (100x). e. Tílides (10x). f. Cristales prismáticos en parénquima (40x).

Características mecánicas (Tabla 4)

La madera es muy dura, rígida, resistente a la compresión, muy resistente al cortante paralelo y de tenacidad media.

Características de secado (Tabla 6)

La curva de secado correspondiente a esta especie se muestra en la figura 4.

La madera es de secado lento (tiempo de secado 35 días para alcanzar el CHE).

DISCUSIÓN

La madera de las dos especies comparte características en cuanto a la diferencia en tonalidad entre albura y duramen; la albura es blanca y el duramen es castaño claro en ambas, no tienen olor ni sabor característicos, su brillo es mediano, el veteado suave y la textura fina. En *Enteolobium cyclocarpum* el hilo es oblicuo, los anillos están marcados por 2 a 4 hileras de fibras y en *Hura polyandra* el hilo es recto y los anillos están marcados por 2 a 3 hileras de fibras.

En las características microscópicas coinciden en la porosidad difusa, con vasos de diámetro mediano, con puntuaciones areoladas alternas ovales y platina de perforación simple, el parénquima axial con cristales prismáticos, los radios son uniseriados, homogéneos, extremadamente bajos y las fibras de longitud mediana y diámetro fino.

Por otro lado presentan diferencias en su anatomía. En *E. cyclocarpum* los poros son muy pocos, la mayoría solitarios y unos cuantos múltiples. Los elementos vasculares son muy cortos, con puntuaciones ornamentadas, algunos con gomas. El parénquima axial es paraqueal vasicéntrico. Los radios pocos,

extremadamente finos. Las fibras de pared delgada. Los anillos de crecimiento de 10 mm a 25 mm de ancho.

En *H. polyandra* los poros son pocos, la mayoría múltiples y algunos solitarios. Los elementos vasculares son medianos, con puntuaciones no ornamentadas, algunos con tílides. El parénquima es axial apotraqueal en bandas, de una hilera de células de ancho. Los radios son moderadamente numerosos, muy finos. Las fibras tienen pared gruesa. Los anillos de crecimiento son de 2 mm a 15 mm de ancho.

En las propiedades físicas, mecánicas y tiempo de secado, únicamente coinciden en las contracciones tangenciales que son bajas y en las demás propiedades son diferentes. *E. cyclocarpum* es una madera muy liviana, de contracción tangencial baja y contracciones radial y volumétrica muy bajas, poco estable, con punto de saturación de la fibra medio. *H. polyandra* es una madera moderadamente pesada, cuyas contracciones son bajas, estable dimensionalmente y punto de saturación menor que *E. cyclocarpum*. Es suave, flexible, poco resistente a la compresión, moderadamente resistente al cortante y poco resistente al impacto. El tiempo de secado es diferente para cada una.

Estas diferencias de comportamiento se explican en gran medida por tratarse de especies con densidades diferentes, que redundan en repuesta a acciones mecánicas diferentes: mayores valores para la madera más densa (Dávalos y Bárcenas, 1999). La misma repuesta se presenta, en general, para las propiedades físicas: las contracciones son mayores para la madera más densa, conforme a la teoría que indica que las contracciones son proporcionales a la densidad (Panshin y de Zeew, 1970) y en consecuencia al grosor de la pared

celular. En cuanto a su comparación con especies parecidas de otras regiones o países, se encontró que *Hura crepitans*, especie sudamericana con densidad básica promedio de 0,42 tiene una razón Contracción tangencial/Contracción radial (CT/CT) promedio (coeficiente de anisotropía) de 1,6 (Keenan y Tejada, 1987), comparable a la obtenida en este estudio para *H. polyandra* (1,65). Echenique-Manrique (1970) señala que los valores de *H. crepitans* pueden compararse directamente con *H. polyandra* porque es difícil distinguir entre la madera de ambas especies, salvo por ciertos caracteres botánicos. En el caso de *E. cyclocarpum*, Robles (1978) determinó un coeficiente de anisotropía de 2,71, comparable con el registrado aquí de 2,52. Estos datos son muy parecidos a valores obtenidos en especies tropicales de Puerto Rico de densidad similar a *E. cyclocarpum* (promedio 0,28) para las que se calcularon valores de CT/CR promedio de 2,27 (Longwood, 1961).

E. cyclocarpum coincide en la diferencia entre albura y duramen con anteriores trabajos (Cárdenas, 1971; Corral, 1985; Silva, 2008), es diferente en el veteado, así como en la textura, hilo y la presencia de anillos de crecimiento. Estas diferencias son debidas al tamaño de los elementos celulares como el diámetro de los poros, la altura corta, la anchura fina de los radios que producen una textura fina. Por otro lado, el hilo es oblicuo, de manera semejante a lo comúnmente encontrado en especies tropicales (Silva, 2008).

En lo que respecta a las propiedades físicas, es similar a la densidad de ejemplares de las selvas de Campeche (0,29) (Robles, 1978) y menor a algunas de Yucatán (0,37) (Gonzalez *et al.*, 2004). La densidad de *H. polyandra* (0,48) fue similar a lo mencionado por Echenique-Manrique (1970) (0,36 -0,44) y también es

semejante a los datos del trabajo de Silva (2008) (0,47-0,68). Tales valores están en función de las dimensiones de sus elementos celulares y se explican principalmente por el grosor de la pared de sus fibras (León, 2010). Silva (2008) presenta valores similares (0,47) para sus ejemplares, clasificándola como una madera de peso mediano, contracciones bajas y buena estabilidad dimensional, lo que coincide con este estudio.

Las bajas contracciones de ambas especies se pueden deber a que haya un menor número de radicales libres en las paredes celulares, para albergar moléculas de agua; la especie con menor valor de coeficiente de anisotropía, *H. polyandra*, tiene mayor estabilidad dimensional y por lo tanto, menor riesgo de que aparezcan grietas de la madera durante el proceso de secado, que a su vez es más lento que el de la especie más ligera. Otras variables que influyen en este comportamiento son las dimensiones de los elementos constitutivos y los tipos de contenidos presentes que retrasan la salida del agua libre (De la Paz y Dávalos, 2008).

En el presente estudio, los valores del módulo de ruptura en la prueba de flexión (41,4 MPa) y los valores de dureza (2,28 kN y 3,04 kN para lateral y longitudinal, respectivamente) de *E. cyclocarpum*, fueron inferiores a lo que presenta Silva (2008), (42,2 MPa a 58,8 MPa) para una densidad de 0,38 - 0,52, asimismo, se encontró un valor de cortante paralelo (7,1 MPa) igual a lo determinado por González *et al.* (2004) (7,2 MPa) con madera de mayor densidad (0,37). La resistencia al impacto está en relación directa al grosor de la pared de las fibras. Las propiedades mecánicas de *H. polyandra* la describen como una madera dura, resistente a la flexión, a la compresión perpendicular y paralela, así como al cortante paralelo.

Estos resultados tienen valores más altos que los obtenidos por Echenique-Manrique (1970) y menores a lo descrito por Silva (2008) en madera con menor y similar densidad, respectivamente.

En ambas especies se aprecian características que dificultan su aserrío. El aserrín de *E. cyclocarpum* afecta las vías respiratorias de algunas personas y la savia de *H. polyandra* es urticante para la piel y los ojos.

De acuerdo con una estimación previa del crecimiento se encontró que la edad de los árboles estudiados de *E. cyclocarpum* es de entre 12 y 18 años y los de *H. polyandra* de aproximadamente 20 años (Pineda *et al.*, 2011).

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que la madera de *E. cyclocarpum* es apta para usarse en artesanías, decoración de interiores, chapa, lambrín y muebles, quedando descartados aquellos usos que requieren de piezas con resistencia a esfuerzos estructurales altos como construcción o piezas sometidas a alto impacto como mangos de herramientas o al desgaste como duelas. En ocasiones se emplea en la forma de utensilios de cocina, lo que concuerda con las características organolépticas determinadas en este trabajo. *H. polyandra* puede emplearse en construcciones rurales, chapas, embalajes, muebles y madera contrachapada (triplay). No se recomienda para piezas de alta resistencia al impacto como mangos de herramientas.

CONCLUSIONES

El conocimiento de las características de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* (parota) y *Hura polyandra* (habillo), aunado a información sobre su crecimiento y fenología, permitirá a los produc-

tores, industriales y artesanos emplearla de manera más eficiente por tener características muy adecuadas para usos prácticos amplios. *E. cyclocarpum* es apta para múltiples productos por ser una madera liviana, más no para uso estructural debido a la baja resistencia que presenta ante los diferentes esfuerzos. *H. polyandra* se podría utilizar en una gama de aplicaciones que hasta el momento no se le han dado en la región. Dado el valor potencial de ambas especies, se recomienda que los propietarios del recurso consideren emprender acciones de certificación del manejo forestal por parte de entidades reconocidas nacionalmente.

AGRADECIMIENTOS

A los señores Hipólito Herrera y Félix Bustos por las facilidades para la recolección del material de estudio. A la M. en I. Reyna Paula Zárate Morales del Inecol, por la preparación del material para las pruebas y la realización de las pruebas físicas y mecánicas, a la doctora Guadalupe M. Bárcenas del Inecol por las facilidades prestadas para el uso del LINCE-Laboratorio de Pruebas, a la doctora Alejandra Quintanar de la UAMI por su ayuda en la anatomía de las puntuaciones, a la Coordinación del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud por el apoyo económico y al Conacyt por la beca de posgrado.

REFERENCIAS

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2010. ASTM D143-09. Standard methods of testing small clear specimens of timber. ASTM International, West Conshohocken, PA. Vol. 4.10. 31 p.

- ASTM. (American Society for Testing and Materials). 1998. ASTM D2915. Standard methods for evaluating allowable properties for grades of structural lumber. Annual Book of Standards. 1970 to 2000 edition. West Conshohocken, PA.
- Chattaway, M. 1932. Proposed standards for numerical values used in describing woods. *Tropical Woods* 9:20-28.
- Chattaway, M. 1955. Crystals in woody tissues I. *Tropical Woods* 102:55-74.
- Cárdenas, E. 1971. Estudio anatómico de la madera de 8 especies de leguminosas. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. 54p.
- Corral, G. 1985. Características anatómicas de la madera de once especies tropicales. *Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. México*, núm. 127.
- Dávalos, R. y G. Bárcenas. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. *Madera y Bosques* 5(1):61-69.
- De la Paz Pérez, C. y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.
- Echenique-Manrique, R. 1970. Descripción, características y usos de 25 maderas tropicales mexicanas. Maderas de México. Número 1. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, México. 237p.
- Echenique-Manrique, R., J. Barajas, L. Pinzón y V. Pérez. 1975. Características tecnológicas de la madera de 10 especies en: Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Veracruz núm. 1. Inireb. 66 p.
- González I, M. Cerón y L. Solís. 2004. Esfuerzos cortante y de tensión paralelos a la fibra en madera tropical de crecimiento rápido. *Ingeniería* 8(1):23-32.
- Guridi G., L. 1980. La madera en las artesanías del Estado de Michoacán. *Bol. Div. Inst. Nac. Invest. For. México* núm. 50.
- IAWA Committee. 1937. Standards terms of length of vessels members and wood fibers. *Tropical Woods* 51:21-22.
- IAWA Committee. 1939. Standards terms of size for vessels diameter and ray width. *Tropical Woods* 59:51-52.
- IAWA Committee. 1964. Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Committee on Nomenclature. Suiza. 186p.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* 10(3):219-332.
- INEGI. 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000. Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/12/12038.pdf>. Consultado el 12 de enero de 2012.
- Johansen, D. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill. Nueva York. 523p.

- Keenan, F.J. y M. Tejada. 1987. Maderas tropicales como material de construcción en los países del Grupo Andino de América del Sur. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Bogotá, Colombia. 147 p.
- León, W. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Rev. For. Venez.* 54:67-76.
- Longwood, F.R. 1961. Puerto Rican woods. Their machining, seasoning and related characteristics. *Agriculture Handbook* num. 205, USDAFS, Washington, D.C. 98p.
- Morán, M.M., F. Carrera G., J.J. Campos A., L. Bastiaan, D. Delgado y G. Galloway. 2008. Evaluación de la sostenibilidad del manejo forestal comunitario en ejidos del estado de Guerrero, en: <http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev49-50/Pages%20124-130.pdf>. Consultado el 25 de enero de 2012.
- Munsell. 1990. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. 17p.
- Panshin, A.J. y C. de Zeew. 1970. *Textbook of wood technology*. Vol. 1, McGraw-Hill Book Co., Nueva York. 705p.
- Pennington, T.D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. UNAM-FCE México. D.F. 521p.
- Pineda, E., C. de la Paz Pérez, R. Dávalos, J.I. Valdez y R.P. Zárate. 2011. Crecimiento, anatomía y propiedades físico-mecánicas de la madera de dos especies tropicales de Costa Grande, Guerrero. *Memo-rias del XVI Foro de estudios sobre Guerrero*. p 160-163.
- Pineda, E., C. de la Paz Pérez y J.I. Valdez. 2012. El aprovechamiento maderable en Costa Grande, Guerrero. *Biodiversitas* 102:6-12.
- Robles, F. 1978. Propiedades y usos de 14 especies tropicales de rápido crecimiento del campo experimental forestal El Tormento. *Bol. Inst. Nac. Invest. For. México* núm. 16.
- Rodríguez, A. 2009. Caracterización de la fabricación de muebles de madera en el municipio de La Unión del estado de Guerrero. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Román, L., A. Mora y A. Gallegos. 2011. Árboles tropicales de uso múltiple en la costa de Jalisco, México. In: *Bosques y arboles del trópico mexicano: estructura, crecimiento y usos*. J.I. Valdez, A. Mora y R. Endara (eds.). Prometeo Eds. 107 p.
- Sallenave, P. 1955. *Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux de Lunion Française*. Centro Technique Forestier Tropical. Nagent. Sur-Marne.
- Sandoval, E. 2005. Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. Cuadernos del Instituto de Biología 38. UNAM. México, D.F. 281p.
- Silva, J.A. 2008. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Coordinación, Educación y Desarrollo Tecnológico. Conafor. 62p.

- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2012. Datos de precipitación y temperatura de la estación automática Vallecitos de Zaragoza. Mayo de 2012.
- Tortorelli, L. 1956. Maderas y bosques argentinos. ACME. Buenos Aires. 910p.
- Zavala, D. 2000. Secado de maderas en estufas convencionales. *Madera y Bosques* 6(1):41-54.

Manuscrito recibido el 7 de septiembre de 2012.

Aceptado el 22 de noviembre de 2012.

Este documento se debe citar como:

Pineda-Herrera, E., C. de la Paz, Pérez-Olvera, R. Dávalos-Sotelo y J.I. Valdez-Hernández. 2012. Características tecnológicas de la madera de dos especies de Costa Grande, Guerrero, México. *Madera y Bosques* 18(3):53-71.