

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO EN BOTÁNICA

### **CRECIMIENTO, ARQUITECTURA Y ANATOMÍA DE ESPECIES FORESTALES EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DEL SUR DE YUCATÁN**

**VÍCTOR MANUEL INTERIÁN KU**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2009

La presente tesis titulada: **Crecimiento, arquitectura y anatomía de especies forestales en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán**, realizada por el alumno: **Víctor Manuel Interián Ku**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**BOTÁNICA**

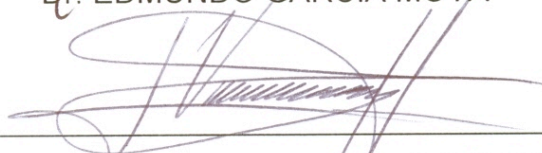
**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:



Dr. EDMUNDO GARCÍA MOYA

DIRECTOR:



Dr. JUAN IGNACIO VALDEZ HERNÁNDEZ

ASESOR:



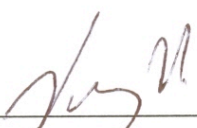
Dra. ANGÉLICA ROMERO MANZANARES

ASESOR:



Dra. Ma. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

ASESOR:



Dr. HUMBERTO VAQUERA HUERTA

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, agosto del 2009

## CRECIMIENTO, ARQUITECTURA Y ANATOMÍA DE ESPECIES FORESTALES EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DEL SUR DE YUCATÁN

Víctor Manuel Interián Ku, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2009

*Caesalpinia gaumeri* Greenm y *Gymnopodium floribundum* Rolfe, son especies forestales importantes para los Mayas de Yucatán, que se utilizan en las construcciones rurales y para la producción apícola respectivamente. El propósito de este trabajo es conocer el crecimiento en diámetro, arquitectura, morfometría y anatomía de *C. gaumeri* y la arquitectura y morfometría de *G. floribundum*. En *C. gaumeri* la tasa anual de crecimiento aumentó de las categorías menores a las mayores (0.41-0.85 cm), de las calidades de copa dañadas a las simétricas (0.23-0.85 cm) y de las incidencias de luz parciales a las totales (0.53-0.84 cm). El crecimiento acumulado en diámetro fue significativamente (Tukey,  $P < 0.05$ ) mayor para las categorías diamétricas de 12.5 a 22.5 cm en relación con la de 2.5 a 7.5 cm; calidad de copa simétrica en comparación con la dañada, incidencia total de luz en la copa respecto a la incidencia parcial y estación lluviosa: 0.56-0.75 cm año<sup>-1</sup> (precipitación = 262-809 mm) en relación a la seca: 0.00-0.03 cm año<sup>-1</sup> (precipitación = 92-269 mm). Su arquitectura se ajusta al modelo Troll, sus ramas presentan reiteraciones y ángulos diferentes entre clases de tamaño. El color de la madera es café oscuro en el duramen y castaño en la albura, con hilo entrecruzado, porosidad difusa, parénquima aliforme, placas de perforación simple, punteaduras alternas, rayos uniseriados y biseriados extremadamente bajos y finos, fibras medianas, madera pesada y sin transición entre temprana y tardía. Se puede utilizar para construcciones rurales, durmientes, postes, duelas y artesanías. La arquitectura de *G. floribundum* corresponde al modelo Champagnat, con ángulos de ramas diferentes entre clases de tamaño y con reiteraciones que es posible utilizar para promover la formación de tallos e incrementar el número de ramas con flores.

**Palabras clave:** Kitimché, tzitzilché, bandas dendrométricas, posición y calidad de copa, tasa de crecimiento, morfología, estructuras celulares.

## GROWTH, ARCHITECTURE AND ANATOMY OF FOREST SPECIES IN A TROPICAL DECIDUOUS FOREST OF SOUTHERN YUCATAN

Víctor Manuel Interián Ku, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2009

*Caesalpinia gaumeri* Greenm and *Gymnopodium floribundum* Rolfe, are important forest species to the Mayan people of Yucatan, the first widely used in rural construction and the second is the basis of beekeeping. The purpose of this study was to determine the diameter growth, architecture, morphometry and anatomy of *C. gaumeri* and architecture and morphometry of *G. floribundum*. The annual growth rate of *C. gaumeri* increased from the lower to the higher diameter categories (0.41-0.85 cm), from the damaged to the symmetrical crown qualities (0.23-0.85 cm) and from the partial to the total incidences of sunlight (0.53-0.84 cm). The accumulated growth in diameter were significantly (Tukey,  $P < 0.05$ ) higher for the 12.5 to 22.5 cm diameter categories in relation to the 2.5 to 7.5 cm, for the symmetrical in comparison to the damaged crown quality, for the total incidence of sunlight in respect to the partial incidence and higher during rainy season: 0.56-0.75 cm year<sup>-1</sup> (precipitation = 262-809 mm) than during dry season: 0.00-0.03 cm year<sup>-1</sup> (precipitation = 92-269 mm). Its architecture is model Troll, the branches have different angles and reiterations between size classes. The color of the wood is dark brown in the heartwood and brown in sapwood, has crossed wire, porosity diffuse, aliform parenchyma, simple perforation plate, small pits, rays uniseriate and biseriate extremely low and thin, fiber medium and heavy density, there is no transition between early and late wood. This species can be used in the rural construction, ties, poles, staves, and crafts. The architecture of *G. floribundum* is the Champagnat model, with different angles of branches in the size classes and reiterations, that is possible to use for promotes the growth of stems and increments the number of branches with flowers.

**Keywords:** Kitimché, tzitzilché bands dendrometrical, position and quality of canopy, growth rate, morphology, cellular structures.



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada (169577) para realizar estudios de doctorado y al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por la beca tesis (07BTD397) para concluir este documento.

Al Dr. Edmundo García Moya, por su constante apoyo hacia la culminación de mis estudios de doctorado.

Al Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández, por la dirección del presente trabajo.

A la Dra. Angélica Romero Manzanares, por su empeño en la revisión de este trabajo.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, por haberme permitido realizar la investigación en el laboratorio de anatomía de la madera de la División de Ciencias Forestales de la UACH y por su valiosa asesoría.

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta, por su valiosa asesoría en la parte estadística del presente trabajo.

Al Ing. Gonzalo de Jesús Novelo Gonzales, por haberme permitido asistir a su cátedra en "Física de la madera".

Al C. Antonio Francisco Pérez Cuevas, por el apoyo brindado en el laboratorio de anatomía y física de la madera en la División de Ciencias Forestales de la UACH.

A la Sria. María de Lourdes Nah Esparza, del área de anatomía y física de la madera de la División de Ciencias Forestales de la UACH, por el apoyo brindado.

**A TODOS MUCHAS GRACIAS**

# *DEDICATORIA*

*El presente trabajo la*

*dedico a mi esposa*

*Esmeralda Cázares*

*Sánchez, ya que en todo  
momento me acompañó, me  
inspiró y me ayudó a*

*encontrar el rumbo y  
camino correcto cuando  
creía que la había perdido.*

*A mis padres y hermanos que  
siempre me apoyaron con sus  
sabios consejos durante mi*

*trayectoria como estudiante  
y por la obtención de datos  
para el presente trabajo.*

# GRACIAS

## CONTENIDO

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS .....	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
1.1 Justificación .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Hipótesis .....	2
1.4 Literatura citada .....	3
CAPÍTULO II. CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DEL SUR DE YUCATÁN, MÉXICO .....	5
2.1 Resumen.....	5
2.2 Introducción .....	7
2.3 Objetivo.....	8
2.4 Hipótesis .....	8
2.5 Materiales y métodos .....	8
2.5.1 Área de estudio.....	8
2.5.2 Selección de árboles, colocación de bandas dendrométricas y toma de datos ..	9
2.5.3 Análisis estadístico .....	10
2.6 Resultados.....	11
2.7 Discusión.....	18
2.8 Conclusiones .....	20
2.9 Literatura citada .....	21

<b>CAPÍTULO III. ARQUITECTURA Y MORFOMETRÍA DE DOS ESPECIES ARBÓREAS EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DEL SUR DE YUCATÁN, MÉXICO</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 Resumen</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2 Introducción</b> .....	<b>27</b>
<b>3.3 Objetivo</b> .....	<b>28</b>
<b>3.4 Hipótesis</b> .....	<b>29</b>
<b>3.5 Materiales y métodos</b> .....	<b>29</b>
<b>3.6 Resultados</b> .....	<b>30</b>
3.6.1 <i>Caesalpinia gaumeri</i> .....	30
3.6.2 <i>Gymnopodium floribundum</i> .....	36
<b>3.7 Discusión</b> .....	<b>42</b>
<b>3.8 Conclusiones</b> .....	<b>45</b>
<b>3.9 Literatura citada</b> .....	<b>46</b>
<b>3.10 Glosario</b> .....	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO IV. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm EN DZAN, YUCATÁN</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1 Resumen</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2 Introducción</b> .....	<b>57</b>
<b>4.3 Objetivos</b> .....	<b>60</b>
<b>4.4 Hipótesis</b> .....	<b>60</b>
<b>4.5 Materiales y métodos</b> .....	<b>60</b>
4.5.1 Obtención de las muestras de madera .....	60
4.5.2 Caracterización macroscópica.....	60
4.5.3 Caracterización microscópica .....	61
4.5.4 Propiedades físicas.....	62
4.5.4.1 Densidad .....	62
4.5.4.2 Contenido de humedad.....	62
4.5.4.3 Contracción.....	63
<b>4.6 Resultados</b> .....	<b>64</b>
4.6.1 Descripción macroscópica .....	64



4.6.2 Descripción microscópica .....	65
4.6.3 Propiedades físicas.....	69
<b>4.7 Discusión.....</b>	<b>69</b>
<b>4.8 Conclusiones .....</b>	<b>74</b>
<b>4.9 Literatura citada .....</b>	<b>75</b>
<b>V. DISCUSIÓN GENERAL .....</b>	<b>80</b>
<b>VI. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>84</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>86</b>

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

<b>CAPÍTULO II. CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DEL SUR DE YUCATÁN, MÉXICO.....</b>	<b>5</b>
Cuadro 1. R <sup>2</sup> parcial de las variables seleccionadas (por el procedimiento Stepwise) a incluir en el modelo de regresión polinomial.....	11
Cuadro 3. Estadísticos y comparación de medias para la suma total del crecimiento acumulado en diámetro de <i>Caesalpinia gaumeri</i> por categoría diamétrica, calidad de copa e incidencia de luz en la copa.....	15
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para la suma total del crecimiento acumulado en diámetro de <i>Caesalpinia gaumeri</i> entre estaciones seca y lluviosa.....	16
Cuadro 5. Comparación de medias para la suma total del crecimiento acumulado en diámetro de <i>Caesalpinia gaumeri</i> entre estaciones seca y lluviosa.....	16
Figura 1. Crecimiento acumulado en diámetro de 32 individuos de <i>Caesalpinia gaumeri</i> por categoría diamétrica: a) CD I (n = 8), b) CD II (n = 8), c) CD III (n = 8) y d) CD IV (n = 8).....	12
Figura 2. Crecimiento acumulado en diámetro de 32 individuos de <i>Caesalpinia gaumeri</i> por calidad de copa: a) C1 dañada (n = 2), b) C2 asimétrica (n = 15) y c) C3 simétrica (n = 15).....	13
Figura 3. Crecimiento acumulado en diámetro de 32 individuos de <i>Caesalpinia gaumeri</i> por incidencia de luz en la copa: a) L2 parcial (n = 17) y b) L3 total (n = 15).....	14
Figura 4. Relación de las curvas ajustadas del crecimiento acumulado en diámetro de <i>Caesalpinia gaumeri</i> por categoría diamétrica (a), calidad de copa (b) e incidencia de luz en la copa (c) con la precipitación del área de	

estudio.....	17
<b>CAPÍTULO III. ARQUITECTURA Y MORFOMETRÍA DE DOS ESPECIES ARBÓREAS EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DEL SUR DE YUCATÁN, MÉXICO.....</b>	<b>25</b>
Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para atributos dasométricos de <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm.....	33
Cuadro 2. Valores promedio de atributos dasométricos para <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm.....	34
Cuadro 3. Valores de probabilidad de la distancia de Mahalanobis entre clases de tamaño dentro de tipos de suelo para <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm.....	35
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para atributos dasométricos de <i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe.....	39
Cuadro 5. Valores promedios de atributos dasométricos para <i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe.....	40
Cuadro 6. Valores de probabilidad de la distancia de Mahalanobis entre clases de tamaño dentro de tipos de suelo para <i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe...	41
Figura 1. Arquitectura de <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm: a) fustal, polieje diferenciado en tronco y ramas con reiteración traumática (R); b) brinzal, ejes plagiotrópicos y ramas secas (RS); c) latizal, eje principal simpodial con ramificación monocasio; ramas bajas se secarán y caerán (RC); d) rama con órdenes de ramificación sucesivos (1, 2, 3) plagiotrópicos, crecimiento simpodial monocasio y siléptico; e) hoja dística imparipinnada.....	31
Figura 2. <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm: a) racimos b) frutos.....	32
Figura 3. Distribución de <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm (24 individuos) con base en las primeras dos funciones discriminantes (FD1, FD2): brinzales en suelos <i>k'ankab</i> (B) y <i>tzek'el</i> (b), latizales en suelos <i>k'ankab</i> (L) y <i>tzek'el</i> (l), fustales en suelos <i>k'ankab</i> (F) y <i>tzek'el</i> (f).....	35
Figura 4. Arquitectura de <i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe: a) fustal poliejes; b) brinzal, de crecimiento simpódico monocasio alternado, con reiteraciones traumáticas que muestran nudo bayoneta (RNB); c) latizal, con desarrollo simpodial dicasio y la parte distal colgante mientras que la proximal es sustituyente del tronco o eje principal con crecimiento simpodial monocasio y reiteraciones traumáticas con nudo bayoneta (RNB) más complejos de reiteraciones (CR); d) rama con dicasios, primer, segundo y tercer orden (1,2,3); e) filotaxia alterna y una a dos hojas por nudo.....	37
Figura 5. Inflorescencias tipo panículas racemosa de <i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe.....	38
Figura 6. Distribución de <i>Gymnopodium floribundum</i> Rolfe (24 individuos) con	

base en las primeras dos funciones discriminantes (FD1, FD2): brinzales en suelos <i>k'ankab</i> (B) y <i>tzek'el</i> (b), latizales en suelos <i>k'ankab</i> (L) y <i>tzek'el</i> (l), fustales en suelos <i>k'ankab</i> (F) y <i>tzek'el</i> (f).....	41
<b>CAPÍTULO IV. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm EN DZAN, YUCATÁN.....</b>	<b>55</b>
Cuadro 1. Evolución de los elementos traqueales.....	58
Cuadro 2. Características microscópicas de <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm.....	67
Figura 1. Color, vetado de hilo y textura en cortes típicos de <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm: a) transversal; b) tangencial y c) radial.....	64
Figura 2. Cortes transversal (a = 2.5 X; b = 10 X), radial (c = 10 X; d = 40 X) y tangencial (e = 10 X; f = 40 X) en <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm.....	66
Figura 3. Fibras en <i>Caesalpinia gaumeri</i> Greenm. a) lumen y pared (40 X), b) longitud (2.5 X) .....	68
Figura 4. Elementos de vasos en <i>Caesalpinia gaumeri</i> . a, b y c), ápice y longitud (10 X); d, e y f) punteaduras simples alternas (40 X).....	68

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El planeta tierra cuenta con 3,869,455,000 ha de bosques naturales y plantados, que representan el 29.6 % del total de la superficie terrestre; de este total de bosques, el 52 % son considerados como tropicales, 9 % como subtropicales, 13 % como templados y 25 % como boreales o polares, mientras que, en el continente americano existen 1,434,922,000 ha de las cuales el 65 % son tropicales, 7.4 % subtropicales, 11.7 % templados y 15 % boreales (FAO, 2005). En México se tiene una superficie forestal de 141,745,680 ha de las cuales 30,433,893 ha son bosque, 26,440,061 ha son selvas, 58,472,398 ha pertenecen a vegetación de zonas secas, 4,163,343 ha corresponden a vegetación hidrófila y halófila y 22,235,474 son consideradas como perturbadas. Del total de selvas, el 49.3 % son bajas y el 26.1 % son altas y medianas. En particular, el estado de Yucatán cuenta con 269,781 ha de selva baja, 302,384 ha de alta y mediana, 1,640 ha de matorral espinoso, 17,020 ha de vegetación hidrófila y 1,507,075 ha de zonas perturbadas; por la superficie total de selvas, el estado ocupa el octavo lugar en el país y el décimo tercero en superficie ocupada por selvas bajas (SEMARNAT, 2004).

### 1.1 Justificación

La importancia de las selvas en el estado de Yucatán se encuentra en el nivel de gestión, ya que se estima que las familias mayas pueden utilizar de 100 a 250 especies de árboles procedentes de sus áreas forestales, lo que se traduce en un gran conocimiento agroforestal y de manejo (Toledo *et al.*, 2008). Los estudios de campo realizados a la fecha se han enfocado a conocer el efecto de huracanes sobre las especies forestales (Whigham *et al.*, 1991), la sucesión ecológica (Illisley, 1994; Levy *et al.*, 1994; Levy, 1990), la deforestación (Sánchez y Rebollar, 1999), el efecto del tipo de suelo en la regeneración de las especies forestales (Ceccon *et al.*, 2002), los usos de estas (Levy *et al.*, 1994; Cob *et al.*, 2003), la fragmentación y el efecto de las actividades humanas sobre la selva (Chiappy y Gama, 2004), la conformación de la vegetación arbórea de acuerdo a los gradientes ambientales (White y Hood, 2004) y la dendrocronología (Roig *et al.*, 2005).

## 1.2 Objetivos

La presente investigación tiene como objetivos conocer el crecimiento en diámetro, describir la arquitectura y morfometría, además de la anatomía de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm, conocida en maya como Kitimché, así como analizar la arquitectura y morfometría de *Gymnopodium floribundum* Rolfe nombrada localmente como tzitzilché, ambas especies forestales de la selva baja caducifolia del estado de Yucatán, con la finalidad de tener estudios técnico-científicos que permitan proponer un aprovechamiento planificado.

## 1.3 Hipótesis

El conocimiento de las características del crecimiento en diámetro, arquitectura, morfometría y anatomía de la madera de *Caesalpinia gaumeri*, así como de la arquitectura y morfometría de *Gymnopodium floribundum*, permitirá proponer su manejo adecuado en beneficio de los habitantes de la selva baja caducifolia del sur de Yucatán.

El presente trabajo se divide en tres apartados: I) Crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México, en el cual se presenta el modelo de regresión que mejor se ajustó al crecimiento en diámetro para cuatro categorías diamétricas, tres calidades y dos incidencias de luz solar en la copa, así como la tasa de incremento medio anual y su relación con algunos elementos del clima. II) Arquitectura y morfometría de dos especies arbóreas en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México; en este capítulo se describen los modelos arquitectónicos a los cuales se ajustan *Caesalpinia gaumeri* y *Gymnopodium floribundum* que crecen en dos tipos de suelo, ubicados en tres clases de tamaños, así como las diferencias entre atributos dasométricos. III) Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán, en el cual se describen las estructuras celulares y su relación con aspectos fisiológicos, se determina la densidad y contracción de la madera, así como posibles usos de la misma.

Es importante señalar que en el caso de *Gymnopodium floribundum* solo se analiza su arquitectura y morfometría debido a que es una especie que provee de néctar a la actividad apícola del estado de Yucatán, mientras que *Caesalpinia gaumeri* es utilizada para las construcciones rurales, lo que motivó a investigar sus características anatómicas, propiedades físicas y tasa de crecimiento en diámetro.

#### 1.4 Literatura citada

- Ceccon, E., I. Olmsted, C. Vázquez-Yañes y J. Campo-Alves. 2002. Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos de diferente estado regeneracional en Yucatán. *Agrociencia* 36(5): 621-631.
- Chiappy, C. y L. Gama. 2004. Modificaciones y fragmentación de los geocomplejos tropicales de la Península de Yucatán. *Universidad y Ciencia*, Número especial I: 17-25.
- Cob, U. J. V., D. Granados-Sánchez, L. M. Arias-Reyes, J. G. Álvarez-Moctezuma y G. F. López-Ríos. 2003. Recursos forestales y etnobotánica en la región milpera de Yucatán, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1): 11-16.
- FAO. 2005. Situación de los bosques del mundo. 153 p.  
[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/00/y5574s00htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/00/y5574s00htm).  
Consultado el 28 de noviembre del 2007.
- Illsley, G. C. 1994. Vegetación y milpa en el ejido de Yaxcabá, Yucatán. *In*: Hernández X. E., E. Bello B. y S. Levy T. (Comps.). *La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional*. Colegio de Postgraduados, México. Tomo I. Pp. 129-148.
- Levy, T. S. 1990. Sucesión secundaria en Yucatán, antecedentes para su manejo. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 173 p.

- Levy, T. S., E. Hernández X., E. García M. y A. Castillo M. 1994. Estudio de la sucesión secundaria bajo rosa-tumba-quema en Yucatán. *In*: Hernández X.E., E. Bello B. y S. Levy T. (Comps.) La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados, México. Tomo I. Pp. 149-169.
- Roig, F. A., J. Jiménez O., J. Villanueva D., B. Luckman, H. Tiessen, A. Medina y E. J. Noellemeyer. 2005. Anatomy of growth rings at the Yucatan Peninsula. *Dendrochronologia* 22: 187-193.
- Sánchez, A. R. y D. S. Rebollar. 1999. Deforestación en la Península de Yucatán, los retos que enfrentar. *Madera y Bosques* 5(2): 3-17.
- SEMARNAT. 2004. Anuario estadístico de la producción forestal. México. 158 p.
- Toledo, V. M., N. Varrera-Bassols, E. García-Frapolli y P. Alarcón-Chaires. 2008. Uso múltiple y biodiversidad entre los Mayas Yucatecos (México). *Interciencia* 33(5): 345-352.
- Whigham, D., I. Olmsted, E. Cabrera C. y Harmon M. 1991. The impact of hurricane Gilbert on trees, litterfall and woody debris in a dry tropical forest in the northeastern Yucatan Peninsula. *Biotropica* 23 (4a): 434-441.
- White, D. A. y C. S. Hood. 2004. Vegetation patterns and environmental gradients in tropical dry forests of the northern Yucatán Peninsula. *Journal of Vegetation Science* 15: 151-160.

## CAPÍTULO II. CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE *Caesalpinia gaumeri* Greenm EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DEL SUR DE YUCATÁN, MÉXICO

Interián-Ku V. M.<sup>1</sup>, Valdez-Hernández J. I.<sup>2</sup>, García-Moya E.<sup>1</sup>, Romero-Manzanares A.<sup>1</sup>, Borja de la Rosa M. A.<sup>3</sup>, Vaquera-Huerta H.<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Programa en Botánica. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Programa Forestal. Carretera México-Texcoco km 36.5. Código Postal 56230. Montecillo, Estado de México. Teléfono y Fax (01-595) 95-202-47. <sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Estado de México. <sup>4</sup>Colegio de Postgraduados, Programa en Estadística.

### 2.1 Resumen

El presente trabajo se desarrolló en una selva baja caducifolia al sur de Yucatán, México, en una especie de importancia maderable que se utiliza para construcciones rurales. Con el propósito de determinar la tasa anual y el crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* Greenm por categoría diamétrica, calidad de copa e incidencia de luz solar en la copa, así como su relación con algunos elementos climáticos del área de estudio, se instalaron bandas dendrométricas en 32 árboles y se tomaron lecturas bimensuales. También se registraron datos de precipitación, temperatura y humedad relativa del aire. Los resultados indican que la tasa de crecimiento anual aumentó de las categorías menores a las mayores (0.41-0.85 cm), de las calidades de copa dañadas a las simétricas (0.23-0.85 cm) y de las incidencias de luz parciales a las totales (0.53-0.84 cm). Las sumas totales del crecimiento acumulado en diámetro fueron significativamente (Tukey,  $P < 0.05$ ) mayores para las categorías diamétricas de 12.5 a 22.5 cm en relación con la de 2.5 a 7.5 cm, para la calidad de copa simétrica en comparación con la dañada y para la incidencia total de luz en la copa respecto a la incidencia parcial. El crecimiento acumulado en diámetro fue significativamente (Tukey,  $P < 0.05$ ) mayor en la estación lluviosa: 0.56-0.75 cm año<sup>-1</sup> (precipitación = 262-809 mm) que en la seca: 0.00-0.03 cm año<sup>-1</sup> (precipitación = 92-269 mm).

**Palabras clave:** Bandas dendrométricas, tasa de crecimiento, categorías diamétricas, calidades de copa, incidencias de luz, precipitación.



## Abstract

This work was conducted in a tropical deciduous forest of southern Yucatan, Mexico, for an important timber species that is used for rural constructions. In order to determine the annual rate and the cumulative growth in diameter of *Caesalpinia gaumeri* Greenm by diameter category, crown quality and incidence of sunlight on the crown, as well as their relation to some climatic elements of the study area, dendrometer bands were installed in 32 trees and readings were taken bimonthly. Also were recorded data for rainfall, temperature and relative humidity of the air. Results indicate that the annual growth rate increased from the lower to the higher diameter categories (0.41-0.85 cm), from the damaged to the symmetrical crown qualities (0.23-0.85 cm) and from the partial to the total incidences of sunlight (0.53-0.84 cm). Total sums of accumulated growth in diameter were significantly (Tukey,  $P < 0.05$ ) higher for the 12.5 to 22.5 cm diameter categories in relation to the 2.5 to 7.5 cm, for the symmetrical in comparison to the damaged crown quality, and for the total incidence of sunlight in respect to the partial incidence. Accumulated growth in diameter was significantly (Tukey,  $P < 0.05$ ) higher during rainy season: 0.56-0.75 cm year<sup>-1</sup> (precipitation = 262-809 mm) than during dry season: 0.00-0.03 cm year<sup>-1</sup> (precipitation = 92-269 mm).

**Keywords:** Dendrometer bands, growth rate, diameter categories, crown qualities, incidences of sunlight, precipitation.

## 2.2 Introducción

El crecimiento anual en diámetro del fuste de los árboles es importante para la selección de especies y su posterior utilización en plantaciones, recuperación ecológica y áreas verdes urbanas (Worbes y Junk, 1989; Worbes, 1995; Corral y Navar, 2005). Algunos trabajos han relacionado este crecimiento con elementos del clima como la temperatura (Kozlowski *et al.*, 1962) o la precipitación (Palmer y Ogden, 1983) y otros, han obtenido la estimación del diámetro de copa por medio de ecuaciones alométricas (Benítez-Naranjo *et al.*, 2004). Parresol (1995); Chauchard y Sbrancia (2003); Hernández y Castellanos (2006) han estudiado la dinámica del crecimiento arbóreo bajo diferentes estados de competencia por luz solar y condiciones de copa. Ricker y del Río, (2004) han documentado el crecimiento del diámetro con relación al tiempo. Hernández y Castellanos (2006) lo han hecho a través de gradientes de elevación.

Una técnica utilizada para conocer el cambio en diámetro de los árboles es la banda dendrométrica propuesta por Hall (1944) y Liming (1957), la cual fue modificada por Cattelino *et al.* (1986) quienes proporcionaron detalles de su construcción e instalación. Esta técnica se usó principalmente en bosques templados (Keeland y Sharitz, 1993) y raras ocasiones en tropicales (Da Silva *et al.*, 2002). En México se ha empleado recientemente para especies de importancia maderable en selvas caducifolias tales como *Enterolobium cyclocarpum* Jacq., *Cedrela odorata* L., *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (Makocki y Valdez-Hernández, 2001), *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Cordia elaeagnoides* D.C. (López-Ayala *et al.*, 2006), debido a que se considera una técnica sencilla, de bajo costo y precisa.

De las 287 especies arbóreas reportadas para el estado de Yucatán por Ibarra-Manríquez *et al.* (1995), 11 resaltan por su densidad arbórea, área basal y valor de importancia: *Gymnopodium floribundum* Rolfe, *Thouinia pausidentata* Radlk., *Caesalpinia gaumeri* Greenm, *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Guettarda elliptica* Sw., *Lonchocarpus yucatanensis* Pittier, *Diospyros anisandra* S.F. Blake, *Neea choriophylla* Standl., *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., *Bauhinia divaricata* L. y

*Acacia gaumeri* Blake (White y Hood, 2004). Se estima que las familias de una comunidad Maya pueden utilizar de 100 a 250 especies de árboles procedentes de sus áreas forestales, a raíz del gran conocimiento agroforestal y de manejo que se tiene sobre las mismas (Toledo *et al.*, 2008).

Una de las especies más apreciadas por su resistencia a la pudrición es *C. gaumeri* (Caesalpinaceae), que se utiliza principalmente para postes en la construcción de casas estilo maya (24.8 % del total de una casa habitación), para leña y carbón (15.8 % del total de un horno) (Levy y Hernández, 1994). Pese a la gran presión de aprovechamiento, no existen estudios de crecimiento en esta especie que permitan generar recomendaciones sobre mejores prácticas de aprovechamiento, excepto uno sobre dendrocronología (Roig *et al.*, 2005), donde se describe la estructura de los anillos de crecimiento.

### **2.3 Objetivo**

Determinar la tasa anual y el crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* por categoría diamétrica, calidad de copa e incidencia de luz en la copa, así como su relación con algunos elementos climáticos del área de estudio.

### **2.4 Hipótesis**

Dadas las condiciones de desarrollo de *Caesalpinia gaumeri* en el sur de Yucatán, se esperarían diferencias significativas del crecimiento en diámetro entre categorías diamétricas, calidades de copa e incidencias de luz en la copa, así como entre las estaciones seca y lluviosa del año.

### **2.5 Materiales y métodos**

#### **2.5.1 Área de estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en el predio “San Manuel” (20° 23’ 46” N y 89° 26’ 19” O) ubicado en el municipio de Dzan, Yucatán a una altura de 24 msnm, en una selva baja caducifolia de aproximadamente 60 años de edad serial sucesional denominada en maya *Nukuch k’aax*, sin disturbio humano. El clima del

lugar es considerado como cálido subhúmedo con lluvias en verano ( $Aw_1$ ), con una precipitación anual de 1,200 mm y una temperatura media anual de 21.1°C (García, 1988). Los tipos de suelos predominantes son luvisoles (k'ankab) y rendzinas (tzek'el, bo'ox lu'um) (Duch, 1994).

### **2.5.2 Selección de árboles, colocación de bandas dendrométricas y toma de datos**

Se establecieron en forma aleatoria seis unidades de muestreo (UM) de 10 x 20 m (White y Hood, 2004), en las cuales se identificaron y marcaron todos los individuos de *C. gaumeri* que presentaron fustes rectos, limpios y sin signos de enfermedades; se categorizaron (CD) de acuerdo con su diámetro a la altura del pecho (DAP = 1.30 m del suelo) en cuatro intervalos: 2.5-7.49 cm (CD I), 7.5-12.49 cm (CD II), 12.5-17.49 cm (CD III) y 17.5-22.49 cm (CD IV). En cada categoría se eligieron ocho individuos para clasificarlos (de manera subjetiva) según la calidad (C) de sus copas en: C1 = ramas muy dañadas, suprimidas y asimétricas, C2 = ramas bien formadas pero asimétricas, C3 = ramas vigorosas, bien formadas y simétricas; así como por la incidencia (L) de luz solar en sus copas: L1 = poca o nula incidencia, L2 = incidencia parcial, L3 = incidencia total (adaptado de Dawkins, 1958). A los 32 individuos seleccionados se les instalaron bandas dendrométricas con base en la metodología propuesta por Cattelino *et al.* (1986). Se realizaron lecturas bimensuales de diciembre del 2006 a septiembre del 2008. Adicionalmente, en el lugar de estudio se estableció un termómetro de temperaturas máximas y mínimas, un higrómetro de reloj para cuantificar la humedad relativa y un recipiente con perímetro y profundidad conocida para coleccionar el agua de lluvia. Los datos de temperatura (°C) máxima y mínima del aire se registraron por las mañanas y los de humedad relativa (%) por la mañana (antes de las 8:00 h), tarde (13:00-14:00 h) y noche (antes de las 20:00 h) para obtener sus promedios diarios. La precipitación se midió en cada evento con una probeta graduada de plástico de 2 l.

### 2.5.3 Análisis estadístico

Se utilizó el procedimiento “Stepwise” de SAS versión 8.0 (1999) para elegir la(s) variable(s): días acumulados al momento de la medición (t), temperatura promedio (Tm), precipitación total (P) y/o humedad relativa promedio (Hr), que mejor explicasen el crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri*. Con el procedimiento “Proc Reg” de SAS, se determinaron los coeficientes “beta” en el siguiente modelo de regresión polinomial:

$$y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 P + \beta_4 P^2 + \varepsilon$$

donde “y” es el crecimiento acumulado en cm y  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  y  $\beta_4$  son parámetros desconocidos del modelo;  $\beta_0$  corresponde al intercepto de la pendiente de regresión equivalente al estado inicial de crecimiento de la categoría diamétrica, posición o calidad de copa;  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son el cambio de la pendiente con respecto al crecimiento en función del tiempo acumulado t entre observaciones;  $\beta_3$  y  $\beta_4$  son el cambio de la pendiente con respecto al crecimiento en función de la precipitación P;  $\varepsilon$  corresponde al error. Las variables Tm y Hr no se incluyeron en este modelo porque el procedimiento Stepwise las eliminó (Cuadro 1).

Con los valores de crecimiento acumulado en diámetro de cada individuo durante el período de estudio, se construyeron curvas en Excel (Microsoft Office, 2007) por categoría diamétrica, calidad y posición de copa, agregando la curva ajustada con el modelo polinomial; mientras que con la suma total de los valores de crecimiento acumulado en diámetro de cada individuo, se realizaron análisis de varianza y comparación de medias en SAS versión 8.0 (1999) para detectar posibles diferencias significativas entre categorías diamétricas, calidades y posiciones de copas, así como entre las estaciones seca y lluviosa.

## 2.6 Resultados

Las variables tiempo (días acumulados) y precipitación fueron las que mejor contribuyeron a explicar el modelo de regresión (Cuadro 1).

Cuadro 1.  $R^2$  parcial de las variables seleccionadas (por el procedimiento Stepwise) a incluir en el modelo de regresión polinomial.

Clasificación		Tiempo (días)	Precipitación (mm)
Categoría	CD I	0.9354***	<b>0.0388*</b>
	CD II	0.9260***	0.0327ns
	CD III	0.9378***	0.0239ns
	CD IV	0.9285***	<b>0.0511*</b>
Calidad	C1	0.7357**	----
	C2	0.9473***	0.0243ns
	C3	0.9294***	<b>0.0447*</b>
Posición	P2	0.9446***	0.0264ns
	P3	0.9278***	<b>0.0440*</b>

\*\*\* =  $P \leq 0.001$ ; \*\* =  $P \leq 0.01$ ; \* =  $P \leq 0.05$ ; ns = no significativo.

Las curvas de crecimiento acumulado por categoría diamétrica se muestran en la Figura 1, las de calidad de copa en la Figura 2 y las de posición de copa en la Figura 3.

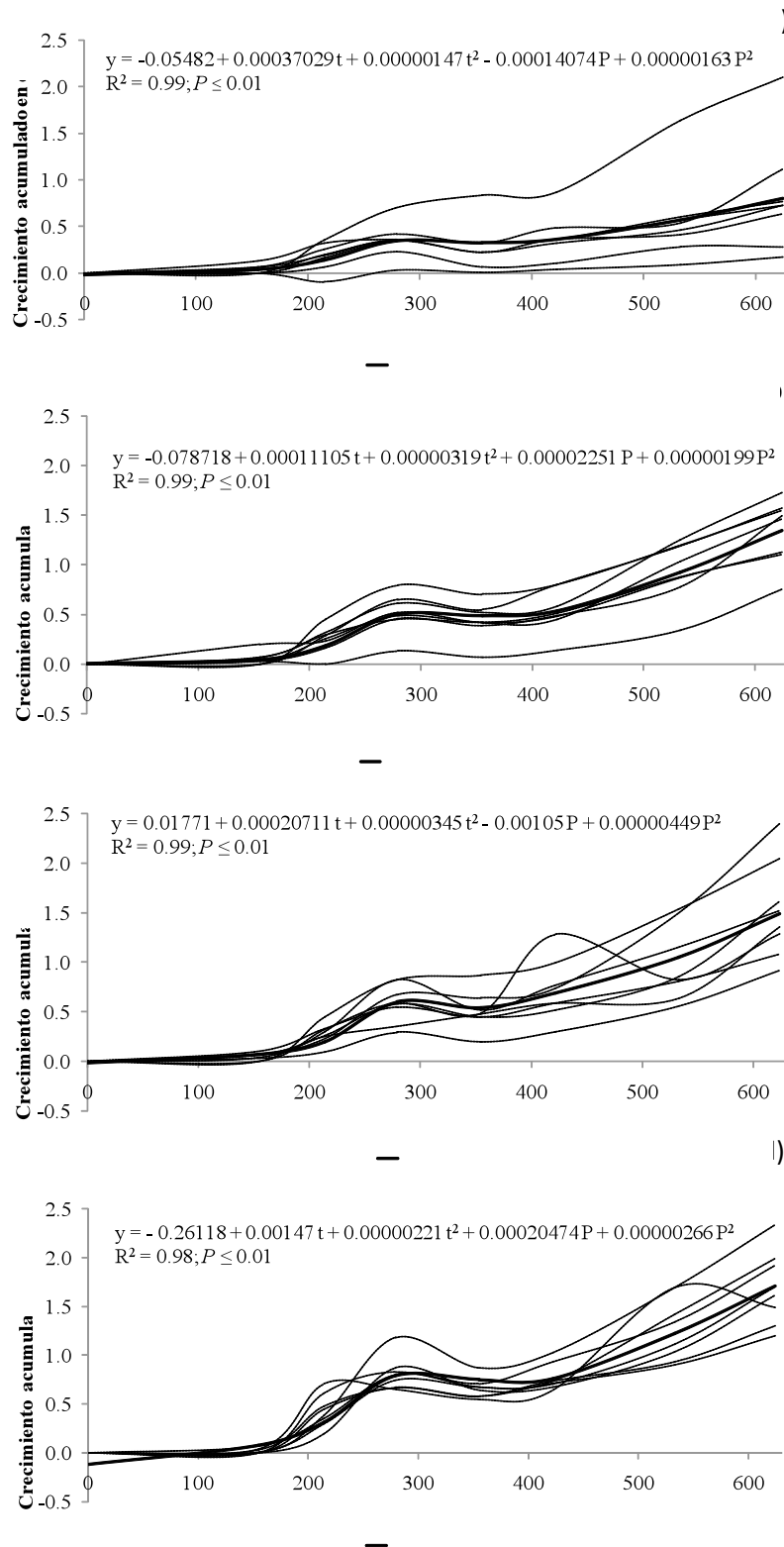


Figura 1. Crecimiento acumulado en diámetro de 32 individuos de *Caesalpinia gaumeri* por categoría diamétrica: a) CD I (n = 8), b) CD II (n = 8), c) CD III (n = 8) y d) CD IV (n = 8).

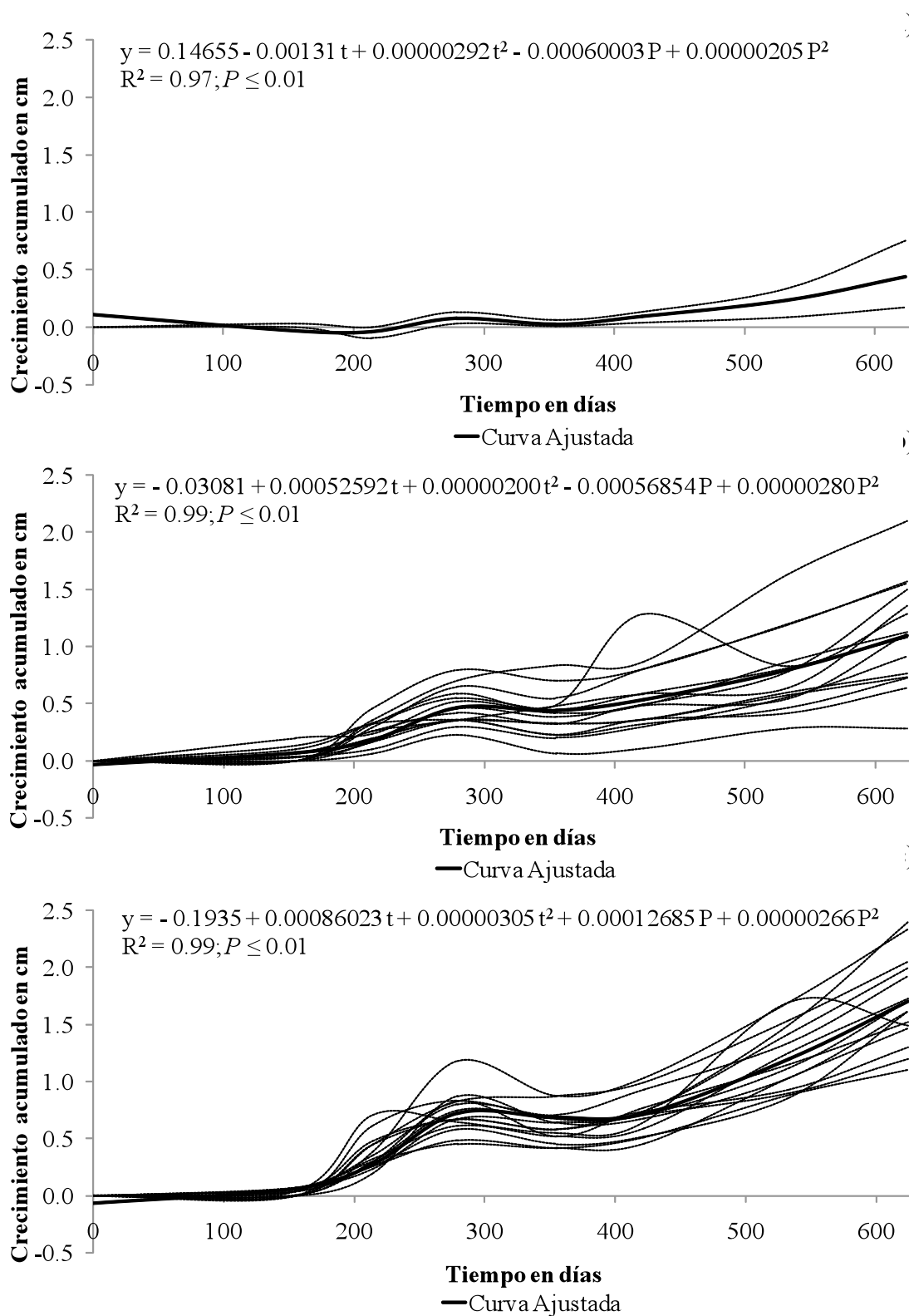


Figura 2. Crecimiento acumulado en diámetro de 32 individuos de *Caesalpinia gaumeri* por calidad de copa: a) C1 dañada (n = 2), b) C2 asimétrica (n = 15) y c) C3 simétrica (n = 15).



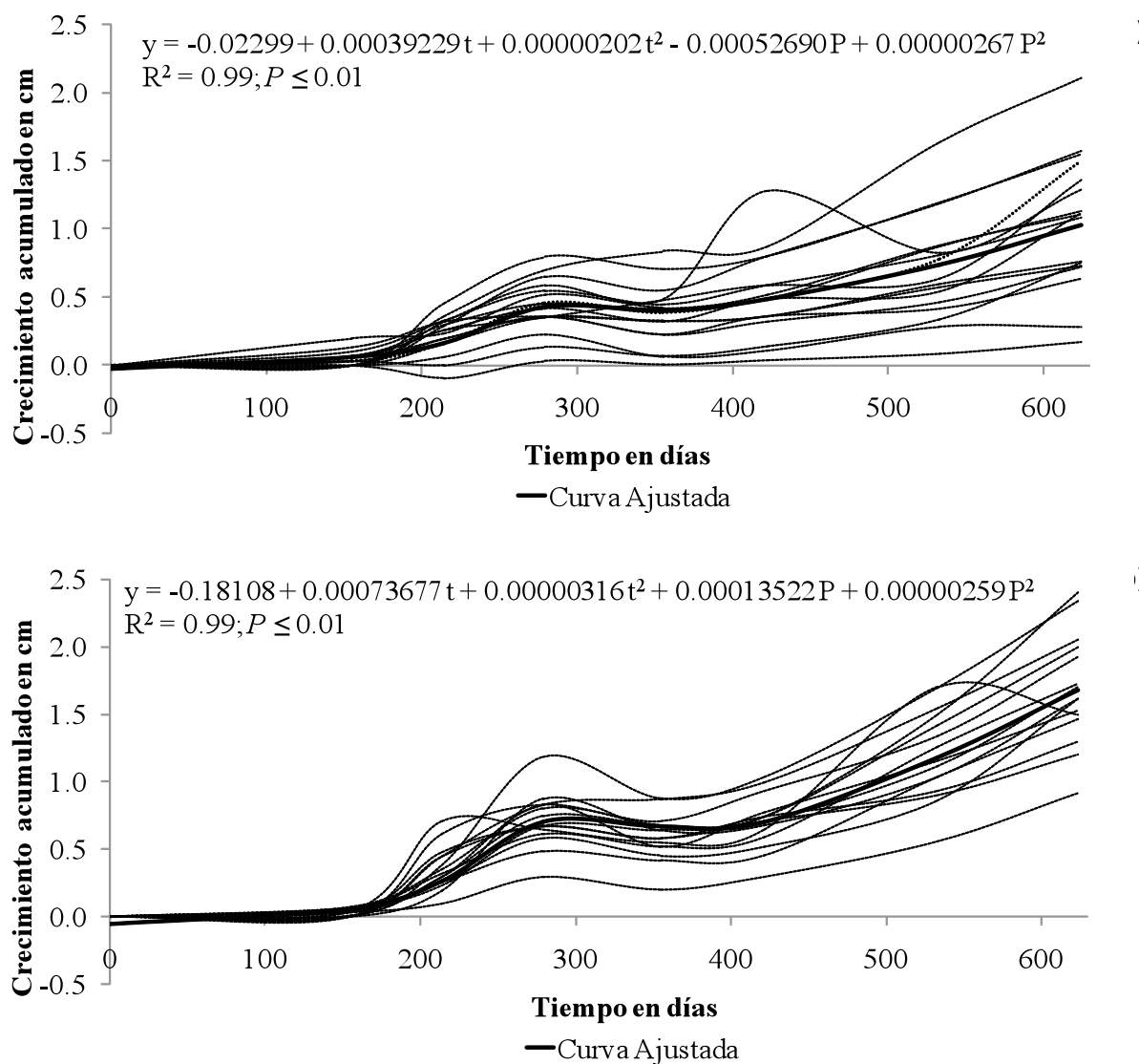


Figura 3. Crecimiento acumulado en diámetro de 32 individuos de *Caesalpinia gaumeri* por incidencia de luz en la copa: a) L2 parcial (n = 17) y b) L3 total (n = 15).

Con el análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas (Tukey,  $P < 0.01$ ) entre categorías diamétricas, calidades de copa e incidencias de luz en la copa (Cuadro 2). Las sumas totales del crecimiento acumulado en diámetro fueron significativamente (Tukey,  $P < 0.05$ ) mayores para las CD III y CD IV en relación con la CD I, para la C3 en comparación con la C1 y para la L3 respecto a la L2 (Cuadro 3).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para la suma total del crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* por categoría diamétrica, calidad de copa e incidencia de luz en la copa.

Fuente de variación	Gl	Crecimiento
Categoría diamétrica	3	1.1705**
<b>Error</b>	28	0.2114
Calidad de copa	2	2.1004**
<b>Error</b>	29	0.1803
Incidencia de luz en copa	1	3.2090**
<b>Error</b>	30	0.2074

gl = Grados de libertad; \*\* =  $P \leq 0.01$ .

La tasa de crecimiento anual aumentó de las categorías pequeñas (CD I, CD II) a las grandes (CD III, CD IV), de las calidades de copa dañada (C1) a la simétrica (C3) y de las incidencias de luz parcial (L2) a la total (L3) en la copa (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estadísticos y comparación de medias para la suma total del crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* por categoría diamétrica, calidad de copa e incidencia de luz en la copa.

Clasificación		Mínimo del período	Máximo del período	N	Promedio del período	Tasa anual
Categoría	CD I	0.17	2.10	8	0.81b	0.41
	CD II	0.75	1.73	8	1.35ab	0.68
	CD III	0.92	2.40	8	1.53a	0.76
	CD IV	1.20	2.33	8	1.70a	0.85
<b>DMS</b>		<b>0.63</b>				
Calidad	C1	0.17	0.75	2	0.46b	0.23
	C2	0.28	2.10	15	1.12ab	0.56
	C3	1.10	2.40	15	1.70 <sup>a</sup>	0.85
	<b>DMS</b>	<b>0.68</b>				
Incidencia de luz	L2	0.17	2.10	17	1.05b	0.53
	L3	0.92	2.40	15	1.68 <sup>a</sup>	0.84
	<b>DMS</b>	<b>0.33</b>				

Período = 624 días; n = Número de individuos; DMS = Diferencia mínima significativa; valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P > 0.05$ ).

Las curvas ajustadas del crecimiento acumulado en diámetro aumentaron en la estación lluviosa (1, 2) y disminuyeron en la seca (2) para categorías diamétricas, calidades de copa e incidencias de luz en la copa (Figura 4); lo anterior se apoya en los resultados obtenidos para la suma total del crecimiento acumulado en diámetro con el análisis de varianza (Cuadro 4) y la comparación de medias (Cuadro 5). Es decir, el crecimiento acumulado en diámetro fue significativamente (Tukey,  $P < 0.05$ ) mayor en las estaciones lluviosas que en las secas.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para la suma total del crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* entre estaciones seca y lluviosa.

Fuente de variación	gl	Crecimiento
Estación	3	4.5488***
Error	124	0.0556

gl = grados de libertad; \*\*\* =  $P \leq 0.001$ .

Cuadro 5. Comparación de medias para la suma total del crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* entre estaciones seca y lluviosa.

Período	Tm (°C)	Hr (%)	P (mm)	N	Crecimiento (cm)
Lluviosa 1	28.05	64.96	809.21	32	0.5628 b
Lluviosa 2	29.48	65.51	261.72	32	0.7497 a
Seca 1	25.28	64.36	268.65	32	0.0000 c
Seca 2	25.11	63.53	91.96	32	0.0344 c
<b>DMS</b>					<b>0.1547</b>

Lluviosa 1 = mayo-octubre 2007; Lluviosa 2 = mayo-septiembre 2008; Seca 1 = noviembre 2006-abril 2007; Seca 2 = noviembre 2007-abril 2008; N = total de individuos; Tm = temperatura promedio del período; Hr = humedad relativa promedio del período; P = precipitación total del período; DMS = diferencia mínima significativa; valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P > 0.05$ ).

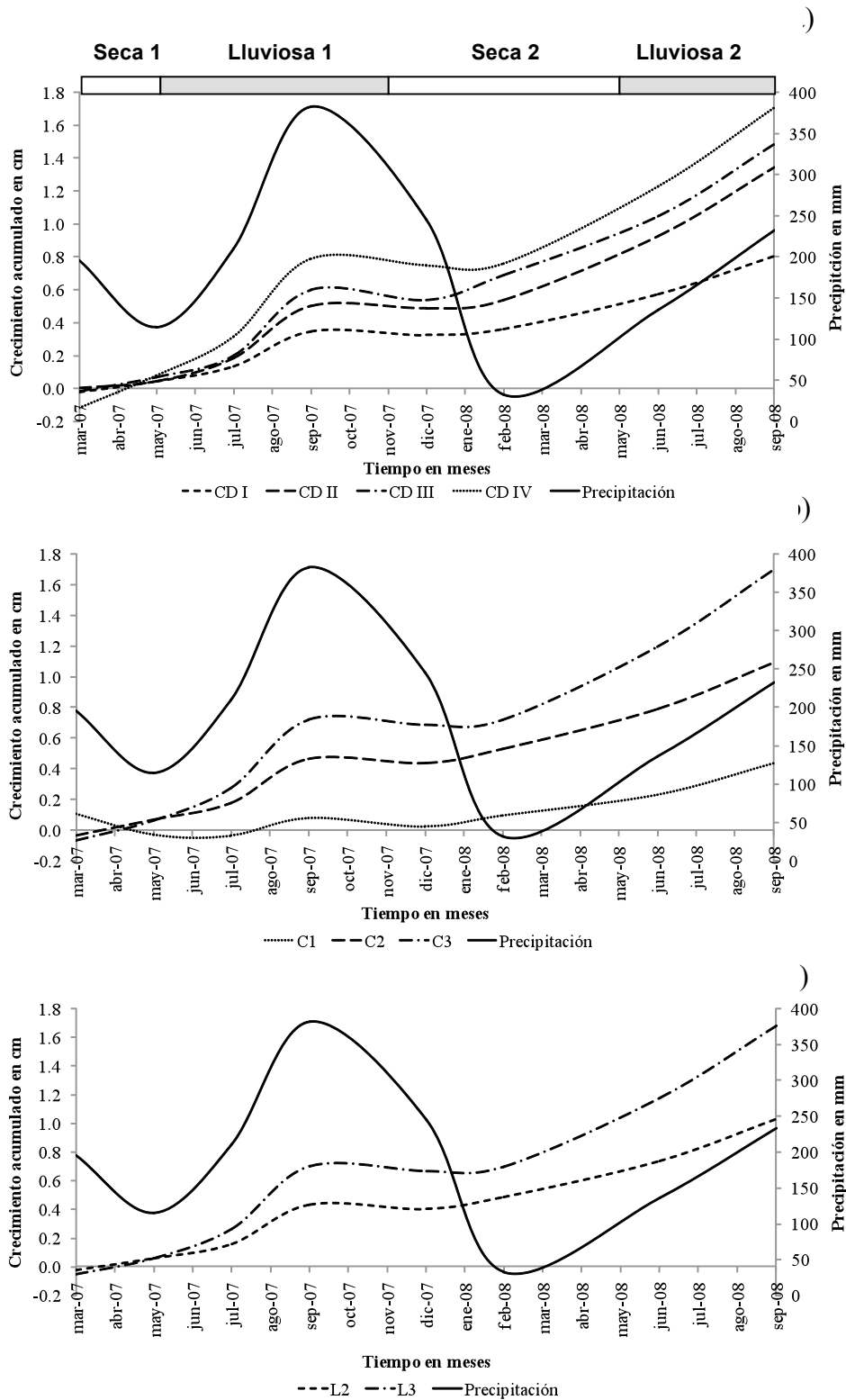


Figura 4. Relación de las curvas ajustadas del crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* por categoría diamétrica (a), calidad de copa (b) e incidencia de luz en la copa (c) con la precipitación del área de estudio.

## 2.7 Discusión

Las diferencias significativas del crecimiento en diámetro encontradas en *Caesalpinia gaumeri* entre categorías diamétricas, calidades de copa e incidencias de luz en la copa, así como entre las estaciones seca y lluviosa del año en el presente trabajo, también se han observado en otras especies tropicales (López-Torres y Tamarit-Urias, 2005; Hernández y Castellanos, 2006; López-Ayala *et al.*, 2006).

En un estudio realizado en Bolivia para *Caesalpinia pluviosa* D.C. se encontró una tasa anual de crecimiento en diámetro de 0.30 cm (Uslar *et al.*, 2003) y en México para *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. de 1.1 cm en Quintana Roo (García y Rodríguez, 1993) y de 0.51 cm en Campeche (López-Torres y Tamarit-Urias, 2005). Estos valores contrastan con lo observado en el presente trabajo para *Caesalpinia gaumeri* (0.67 cm). En el caso de *Caesalpinia pluviosa*, el 60 % de los individuos evaluados se encontraban suprimidos o codominantes, con bejucos en la copa y en el fuste y con categorías diamétricas menores a 10 cm (Uslar *et al.*, 2003), lo que puede explicar el menor crecimiento observado en comparación con *C. gaumeri*. En el caso de *Lysiloma latisiliquum*, en el estudio realizado en Quintana Roo los individuos fueron dominantes y codominantes (García y Rodríguez, 1993), mientras que en Campeche, pertenecían a rodales en transición de la etapa de bajo a medio fustal (suprimidos) (López-Torres y Tamarit-Urias, 2005). Lo anterior, resalta la importancia de la ubicación de los árboles en el estrato vertical del dosel, no obstante existen otros factores que afectan la tasa de crecimiento tales como la densidad, edad, vitalidad, cambios en los regímenes luminosos, espacio para crecer, disponibilidad de agua, temperatura, plagas y enfermedades (Veillon, 1985).

Respecto al crecimiento en diámetro de los árboles clasificados en diferentes categorías diamétricas, algunos autores coinciden en que los árboles de las categorías superiores crecen más que los ubicados en las inferiores (Uslar *et al.*, 2003; Hernández y Castellanos, 2006; Pineda, 2009), comportamiento que fue observado para *C. gaumeri* en este trabajo. Una posible explicación de lo anterior, es

que los árboles pertenecientes a las categorías inferiores e intermedias, se encuentran suprimidos o dominados ya que experimentan una fuerte competencia por espacio con árboles vecinos mientras que las últimas clases pueden crecer más porque tienen copas más desarrolladas, ocupan mejores posiciones en el dosel y en algunos casos son dominantes (Veillon, 1985; Hernández y Castellanos, 2006).

La conformación estructural y la incidencia de luz solar en la copa de los árboles también son factores importantes asociados al crecimiento en diámetro. Al respecto, Swaine *et al.* (1987) y Louman *et al.* (2001) refieren que la conformación de la copa es un buen indicador del vigor de los árboles, porque a medida que mejora se reduce la competencia con árboles aledaños y tienden a crecer más en diámetro debido a que captan mayor cantidad de luz solar. En etapas tempranas de crecimiento, Harold y Hocker (1984) indican que los árboles con una necesidad importante en cantidad y calidad de luz solar tratan de alcanzar el dosel superior lo que limita el crecimiento en diámetro y la anchura de la copa. En la presente investigación, los resultados observados para *C. gaumeri* confirman este comportamiento, ya que los árboles con mejor calidad de copa e incidencia total de luz crecieron más en diámetro en comparación con las de menor calidad e incidencia parcial de luz.

Se ha observado que las especies tropicales son sensibles a la variación de los elementos climáticos (Tome y Burkhardt, 1989; Fichtler *et al.*, 2004). En una selva subcaducifolia de Colima, México, López-Ayala *et al.* (2006), encontraron una relación positiva del crecimiento en diámetro de *Cordia elaeagnoides* D.C. con la precipitación y la temperatura del área de estudio. En una selva caducifolia de Nayarit, México, Makocki y Valdez-Hernández (2001) mencionan que en épocas de sequía se afectó el crecimiento en diámetro de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb (Fabaceae). En una condición de selva caducifolia en Namibia, Fichtler *et al.* (2004), encontraron que el crecimiento en diámetro de *Burkea africana* (Caesalpiniaceae) fue muy sensible a la variación de la precipitación, el cual aumentó en la época lluviosa y disminuyó en el periodo seco. Este comportamiento coincide

con lo observado en el presente estudio para *Caesalpinia gaumeri*. Como una posible explicación, algunos autores señalan que la falta de humedad durante la estación seca limita el crecimiento de los árboles, porque se afecta la mineralización del nitrógeno en el suelo, elemento esencial para su sobrevivencia, además de que la baja disponibilidad de agua en este y la elevada transpiración de la planta, ocasionan un déficit hídrico en el tallo con la consecuente pérdida de turgencia en las células del cambium vascular y parénquima del floema y xilema (Reich y Borchert, 1984; Wright, 1991; Reich, 1995; Baker *et al.*, 2002).

## 2.8 Conclusiones

Debido a que se encontraron diferencias significativas del crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* entre categorías diamétricas, calidades de copa e incidencias de luz en la copa, así como entre las estaciones seca y lluviosa del año, la hipótesis planteada no se rechaza.

Las tasas anuales de crecimiento en diámetro variaron de 0.41 a 0.85 cm en categorías diamétricas, de 0.23 a 0.85 cm en calidades de copa y de 0.53 a 0.84 cm en incidencias de luz en la copa. Las sumas totales del crecimiento acumulado en diámetro fueron significativamente mayores para las categorías diamétricas de 12.5 a 22.5 cm en relación con la de 2.5 a 7.5 cm, para la calidad de copa simétrica en comparación con la dañada y para la incidencia total de luz en la copa respecto a la incidencia parcial.

El crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* fue significativamente mayor en la estación lluviosa: 0.56-0.75 cm año<sup>-1</sup> (precipitación = 262-809 mm) que en la seca: 0.00-0.03 cm año<sup>-1</sup> (precipitación = 92-269 mm).

## 2.9 Literatura citada

- Baker, T. R., K. Affum-Baffoe, D. F. R. P. Burslem y M. D. Swaine. 2002. Phenological differences in tree water use and the timing of tropical forest inventories: conclusions from patterns of dry season diameter change. *Forest Ecology and Management* 171: 261-274.
- Benítez-Naranjo, J.Y., M. Rivero-Vega, A. Vidal-Corona, J. Rodríguez-Rodríguez y R.C. Álvarez-Rivera. 2004. Estimación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. De la Provincia de Camagüey, Cuba. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Medio Ambiente* 10(1): 25-30.
- Cattelino, P. J., C. A. Becher y L. G. Fuller. 1986. Construction and installation of homemade dendrometer bands. *Northern Journal of Applied Forestry* 3: 73-75.
- Corral, R. y J. J. Navar C. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de 5 Pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques* 11(1): 29-47.
- Chauchard, L. y R. Sbrancia. 2003. Modelos de crecimiento diamétrico para *Nothofagus oblique*. *Bosque* 24(3): 3-16.
- Da Silva, R. P., J. Dos Santos, E. Siza T., J. Q. Chambers, S. Nakamura y N. Higuchi. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 166:295-171.
- Dawkins, H. C. 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Paper no. 34. Imperial Forestry Institute. Oxford. 155 p.
- Duch, G. J. 1994. Los suelos, la agricultura y vegetación en Yucatán. En: Hernández X., E. Bello, S. Levy (Comps.). *La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional*. Tomo I. pp. 97-107.
- Excel. 2007. Microsoft Office. Microsoft Corporation.
- Fichtler, E., V. Trouet, H. Beeckman, P. Coppin y M. Worbes. 2004. Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. *Trees* 18: 442-451.



- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246 p.
- García, X. y S. B. Rodríguez. 1993. Cortas intermedias en sitios de vegetación secundaria. *Ciencia Forestal en México* 18(74): 81-100.
- Hall, R. C. 1944. A vernier tree-growth band. *Journal of Forestry*. 42: 742-743.
- Harold, W. y Jr. Hocker. 1984. Introducción a la biología forestal. Primera edición en español. ACT Editor S.A. México. 446 pp.
- Hernández, L. y H. Castellanos. 2006. Crecimiento diamétrico arbóreo en bosques de Sierra de Lema, Guayana Venezolana: primeras evaluaciones. *Interciencia* 31(11): 779-786.
- Ibarra-Manríquez, G., J. L. Villaseñor y R. Durán G. 1995. Riqueza de especies y endemismo del componente arbóreo de la Península de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 57: 49-77.
- Keeland, B. D. y R. R. Sharitz. 1993. Accuracy of tree growth measurements using dendrometer bands. *Canadian Journal of Forest Research*. 23: 2454-2457.
- Kozlowski, T. T., C.H. Winget y T. Torrie. 1962. Daily radial growth of oak in relation to maximum and minimum temperature. *Botanical Gazette* 124(1): 9-17.
- Levy, T.S. y Hernández X. E. 1994. Aprovechamiento forestal tradicional de los hubches en Yucatán. *In: Hernández X, E., E. Bello, S. Levy (Comps.) La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados, México.* Tomo I. pp. 247-270.
- Liming, F. G. 1957. Homemade dendrometers. *Journal of Forestry* 55: 575-577.
- López-Ayala, J. L., J. I. Valdez-Hernández, T. Terrazas y J. R. Valdez-Lazalde. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40: 139-147.
- López-Torres, J. L. y J. C. Tamarit-Urias. 2005. Crecimiento e incremento en diámetro de *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. En bosques secundarios en Escárcega, Campeche, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Medio Ambiente* 11(2): 117-123.

- Louman, B., D. Quirós y M. Nilsson. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico No 46. CATIE. Costa Rica. 265 p.
- Makocki, M. W. y J. I. Valdez-Hernández. 2001. Radial growth periodicity of trees species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of Mexico: Implications for their management. In: Proceedings of the IUFRO Joint Symposium on Tree Seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture. College of Forestry and Natural Resources, University of the Philippines, Los Baños. pp. 85-96.
- 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.
- Parresol, B. R. 1995. Basal area growth for 15 tropical tree species in Puerto Rico. Forest Ecology and Management 73(3): 211-219.
- Pineda, H. E. 2009. Fenología y crecimiento en diámetro de dos especies arbóreas en una selva húmeda de la sierra norte de Oaxaca. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 67 p.
- Reich, P. B. 1995. Phenology of tropical forest: patterns, causes and consequences. Can. J. Botany 73: 164-174.
- Reich, P. B. y R. Borchert. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. Journal of Ecology 72: 61-74.
- Ricker, M. y R. Del Río. 2004. Projecting diameter growth in tropical trees: a new modeling approach. Forest Science 50(2): 213-224.
- Roig, F. A., J. Jiménez O., J. Villanueva D., B. Luckman, H. Tiessen, A. Medina y E. J. Noellemeyer. 2005. Anatomy of growth rings at the Yucatan Peninsula. Dendrochronologia 22: 187-193.
- SAS Institute Inc. 1999. User's guide, version 8.0 for Windows. Cary, NC. 595 p.
- Swaine, M. D., J. B. May y I. J. Alexander. 1987. Tree populations dynamics at Kade, Ghana (1968-1982). Journal of Tropical Ecology 3: 331-345.

- Toledo, V. M., N. Varrera-Bassols, E. García-Frapolli y P. Alarcón-Chaires. 2008. Uso múltiple y biodiversidad entre los Mayas Yucatecos (México). *Interciencia* 33(5): 345-352.
- Tome, M. y H. E. Burkhart. 1989. Distance-dependent competition measure for predicting growth of individual trees. *For. Sci.* 35: 816-831.
- Uslar, Y. V., B. Mostacedo y M. Saldías. 2003. Composición, estructura y dinámica de un bosque seco semideciduo en Santa Cruz, Bolivia. Documento Técnico 114/2003. Chemonics International Inc. USAID/Bolivia. 28 p.
- Veillon, J. P. 1985. El crecimiento de algunos bosques naturales de Venezuela en relación con los parámetros del medio ambiente. *Revista Forestal Venezolana* 19(1): 5-120.
- White, D. A. y Hood C. S. 2004. Vegetation patterns and environmental gradients in tropical dry forests of the northern Yucatán Peninsula. *Journal of Vegetation Science* 15: 151-160.
- Worbes, M. y W. Junk. 1989. Dating tropical trees by means of  $C^{14}$  from bomb test. *Ecology* 70: 503-507.
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. *IAWA Journal* 16: 337-351.
- Wright, S. J. 1991. Seasonal drought and the phenology of understory shrubs in a tropical moist forest. *Ecology* 72(5): 1643-1657.

### CAPÍTULO III. ARQUITECTURA Y MORFOMETRÍA DE DOS ESPECIES ARBÓREAS EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DEL SUR DE YUCATÁN, MÉXICO

Interián-Ku V. M.<sup>1</sup>, Valdez-Hernández J. I.<sup>2</sup>, García-Moya E.<sup>1</sup>, Romero-Manzanares A.<sup>1</sup>, Borja de la Rosa M. A.<sup>3</sup>, Vaquera-Huerta H.<sup>4</sup>.

#### 3.1 Resumen

Se estudió la arquitectura y morfometría de *Caesalpinia gaumeri* Greenm y *Gymnopodium floribundum* Rolfe en una selva baja caducifolia de Yucatán, México, para comprender su organización estructural y la relación con el medio; *C. gaumeri* se utiliza en construcción y *G. floribundum* en apicultura. Se identificaron y clasificaron 24 individuos de ambas especies en tres clases de tamaño: brinzales, latizales y fustales, en suelos luvisol y leptosol. La arquitectura de *C. gaumeri* correspondió al modelo Troll, mientras que *G. floribundum* al Champagnat. Los ángulos en las ramas fueron diferentes entre clases de tamaño: para *C. gaumeri* de 31.2° en brinzales, 36.6° en latizales y 51° en fustales; para *G. floribundum* de 53.7° en brinzales, 34° en latizales y 34.7° en fustales. En ambas especies el diámetro del fuste y en *G. floribundum* las longitudes de ramas, estuvieron significativamente asociadas al tipo de suelo. En ambas especies, se observaron reiteraciones relacionadas con los aprovechamientos y causas naturales. El análisis discriminante canónico corroboró la clasificación dasométrica de los individuos y distinguió las diferencias tanto arquitectónicas como morfométricas encontradas en cada una de las clases de tamaño.

**Palabras clave:** *Caesalpinia gaumeri*, *Gymnopodium floribundum*, clases de tamaño, mediciones dasométricas, tipos de suelo, análisis discriminante canónico.

**Abstract**

We studied the architecture and morphometry of *Caesalpinia gaumeri* and *Gymnopodium floribundum* in a low deciduous forest in Yucatan, Mexico, to understand its organizational structure and relationship with the environment, *C. gaumeri* is used in construction, and *G. floribundum* in beekeeping. We identified and classified 24 individuals of both species in three size classes: saplings, latizales and poles, in soil luvisol and leptosol. The architecture of *C. gaumeri* corresponded to the model Troll and *G. floribundum* is Champagnat. The angles between the branches were different between size classes: 31.2° for seedlings, 36.6° for saplings and 51° for poles (*C. gaumeri*); 34° for saplings, 34.7° for poles and 53.7° for seedlings (*G. floribundum*). The diameter of the stem in both species and lengths of branches in *G. floribundum* were significantly associated with soil type. Both species showed reiterations related of use and natural causes. The canonical discriminant analysis confirmed the classification of individual seedlings, saplings and poles and distinguished differences in architectonic and morphometric found in each of these size classes.

**Keywords:** *Caesalpinia gaumeri*, *Gymnopodium floribundum*, size-classes, forestry measurements, soil types, canonical discriminant analysis.

### 3.2 Introducción

La arquitectura vegetal se estudia a través de dibujos sobre un plano, los cuales permiten llegar a modelar la morfología de las plantas (Tomlinson 1983), bajo la premisa de que la expresión morfológica de la planta es resultante de la interacción entre el genotipo y el medio que le rodea, y que es posible encontrar una gran variación morfológica entre especies e identificar uno o más patrones de crecimiento (Hallé *et al.*, 1978; Barthélémy y Caraglio, 2007).

Los trabajos pioneros en este campo corresponden a Hallé y Oldeman (1970), Oldeman (1974) y Hallé *et al.* (1978); los realizados en el trópico mexicano pertenecen a Torquebian (1981) con especies de Veracruz, a Echevery-Gómez (2000) y Vester (2002) con algunas especies arbóreas de Yucatán y a Baltazar-Ramírez (2001) y Echevery-Gómez y Vester (2001) con especies de Quintana Roo. Son escasos los trabajos que consideran indicadores de los cambios en los patrones morfológicos entre etapas de desarrollo, como el de Jiménez *et al.* (2002) quienes estudiaron los procesos de transición y reiteración entre estas y que, inclusive incorporaron la estadística para caracterizar efectos de supresión y predominio en árboles del Amazonas. Otros factores generalmente omitidos en el estudio de la arquitectura vegetal son los correspondientes a los efectos de los diferentes tipos de suelos donde se desarrollan las especies arbóreas y el aprovechamiento de ápices, ramas o fustes, de acuerdo con el producto deseado por los dueños o usufructuarios del monte.

Este trabajo se centra en la expresión morfológica de dos especies propias de la selva baja caducifolia de Yucatán: *Gymnopodium floribundum* Rolfe (*tzitzilché*) y *Caesalpinia gaumeri* Greenm. (*kitimché*), por ser de importancia ecológica en la zona de acuerdo con su densidad (400 y 372 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente) y área basal (7.7 y 13.4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) (White y Hood, 2004) y por su valor como recurso forestal ya que ambas especies están sujetas a un aprovechamiento intenso. Particularmente, *Gymnopodium floribundum* destaca por la cantidad de néctar que aporta a la actividad apícola (Ramírez *et al.*, 2000; Moguel *et al.*, 2005), cuya contribución al

total nacional junto con otras especies en el 2003, fue del 14.7% (INEGI, 2005). *C. gaumeri*, por sus características mecánicas y de resistencia a la pudrición, se utiliza para la construcción de casas estilo maya en un 25% del total de casas habitación, ya que los postes siempre están en contacto con la tierra; además también se utiliza como leña (100 a 120 kg por semana por familia) y carbón (15.8% del total de un horno) (Levy y Hernández, 1994).

*Gymnopodium floribundum* Rolfe pertenece a la familia Polygonaceae, es un arbusto o árbol pequeño con tres metros de alto o más, con corteza profundamente fisurada, hojas alternas y simples, de ovadas a elípticas, peciolo corto, base redondeada a obtusa, margen completo, ápice redondo a obtuso, con pubescencia en el envés; las flores son panículas rasemosas de color verdoso y se desarrollan de yemas que aparecen al final o previa a la estación de crecimiento (Standley y Steyermark, 1946; Souza, 1981; Sosa *et al.*, 1985).

*Caesalpinia gaumeri* Greenm. pertenece a la familia Fabaceae y la subfamilia Caesalpinoideae. Es un árbol que puede alcanzar hasta 13 m de altura, con profundas acanaladuras y perforaciones en el tronco, la corteza forma placas pequeñas y rectilíneas; tiene hojas alternas paripinadas con foliolo liso; la inflorescencia es un racimo con flores amarillas de simetría bilateral; el pétalo central se encuentra cubierto con manchas naranjas; el fruto es una legumbre plana (Standley y Steyermark, 1946; Souza, 1981; Sosa *et al.*, 1985).

### **3.3 Objetivo**

Dada la importancia ecológica y socioeconómica de *Gymnopodium floribundum* y *Caesalpinia gaumeri* y, con el propósito de contribuir al conocimiento de la morfología y patrón de crecimiento de ambas especies el objetivo del presente trabajo fue describir su arquitectura arbórea con base en atributos morfológicos y mediciones dasométricas en tres diferentes clases de tamaño y dos tipos de suelo. Particularmente, los atributos dasométricos se consideraron para corroborar la

categorización por clases de tamaño y determinar la relación existente entre individuos dentro de las dos condiciones edáficas y entre clases de tamaño.

### 3.4 Hipótesis

Las hipótesis a probar anticipan que: a) entre clases de tamaño el modelo arquitectónico es similar, b) en la interacción con el medio, la influencia del suelo donde se desarrollan los individuos pudiese afectar el crecimiento o disposición modular, estimada conforme al patrón morfométrico de desarrollo.

### 3.5 Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en el predio particular “San Manuel” ubicado a 90 km al sur de Mérida, a 20° 23' 46" de latitud Norte, 89° 26' 19" de longitud Oeste y 24 msnm, en el municipio de Dzan, Yucatán, localizado en una selva baja caducifolia de aproximadamente 60 años (*Nukuch k'aax*, con árboles de más de 11 m de altura). En forma aleatoria, se establecieron seis unidades de muestreo (UM) de 10 x 20 m (White y Hood, 2004) en dos condiciones edáficas: tres UM en *k'ankab* (luvisol) y otras tres en *tzek'el* (leptosol). Los leptosoles de la parte sur de Yucatán, son generalmente pobres en nutrimentos aunque ricos en materia orgánica (36 a 45%) con alta concentración de carbonatos de calcio (4 a 12%). Los luvisoles no cuentan con rocas (0%), tienen buena profundidad (80 cm) y retención de humedad y poca materia orgánica (4 a 12%) en comparación con los leptosoles, y no presentan carbonatos de calcio (García *et al.*, 2005).

En las UM, se identificaron y marcaron todos los individuos de *C. gaumeri* y *G. floribundum* libres de plagas o enfermedades y se seleccionaron ocho individuos por clase de tamaño con base en la clasificación modificada de Valdez (2002): brinzales (<1.5 m de altura), latizales [ $\geq 1.5$  m de altura y hasta 2.5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) medido a 1.3 m sobre el suelo] y fustales (>2.5 cm de DAP), con un total de 24 árboles por especie. Para conocer el modelo arquitectónico que mejor se ajusta a las especies en estudio, se consideraron las siguientes variables morfológicas por individuo: *Crecimiento del eje principal*: Patrón -monopódico o



simpódico, Forma -determinado o indeterminado, Actividad -proléptico o siléptico; *Ramificación*: Patrón -monopodial, simpodial monocasio o simpodial dicasio, Orientación y simetría -ortotrópico, plagiotrópico o combinado, Ordenamiento -eje principal orden 1 y en sucesión orden 2, orden 3 , etc., Ángulo de inserción de ramas -ascendente (16 a 45°) o difuso (46 a 75°), Longitud de ramas -largas o cortas, Longitud de entrenudos -largos o macroblastos, cortos o braquiblastos; *Estructuras reproductivas*: Posición -axilar o apical, Tipo -monopodiales complejas como panículas o simpodiales cimoides clase monocasio, dicasio o pleiocasio; *Reiteraciones*: total o parcial, adaptativa o traumática, proléptica o siléptica. Para complementar esta información se realizaron dibujos del individuo por clase de tamaño y también, de ramas y hojas.

La terminología morfológica ya ha sido definida por autoridades en la materia (Tomlinson y Gill, 1973; McMahon, 1975; Tomlinson, 1978, 1987; Hallé *et al.*, 1978; Brayton, 1984; Moreno, 1984; Osada y Takeda, 2003; Barthélémy y Caraglio, 2007) pero para facilitar el acceso a esta información, en el presente trabajo se anexa un glosario.

Las mediciones dasométricas incluyeron: diámetro del fuste a 1.30 m de altura, altura total, altura a la primera rama, altura de copa, longitud de ramas de primer, segundo y tercer orden, longitud de entrenudos, longitud de lámina y base de la hoja y ángulo de inserción de ramas de primer, segundo y tercer orden. Con los resultados se realizaron análisis de varianza (ANOVA), comparaciones de medias y un análisis de discriminante canónico (ADC), mediante el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999).

## **3.6 Resultados**

### **3.6.1 *Caesalpinia gaumeri***

Se caracteriza por diferenciarse en tronco y rama, el eje principal tiene un crecimiento simpódico e indeterminado con ejes plagiotrópicos que se superponen de manera continua (Figura 1). El patrón de ramificación es simpodial, plagiotrópico y

siléptico, sin embargo, en individuos brinzales y latizales las ramas de la parte inferior del tallo, aparecen y después de cierto tiempo se secan y caen conforme el eje principal crece en altura (RS y RC en Figuras 1b y 1c), hasta conformar un fuste sin ramas por debajo del dosel, justo antes de pasar a la etapa denominada fustal (Figura 1a).

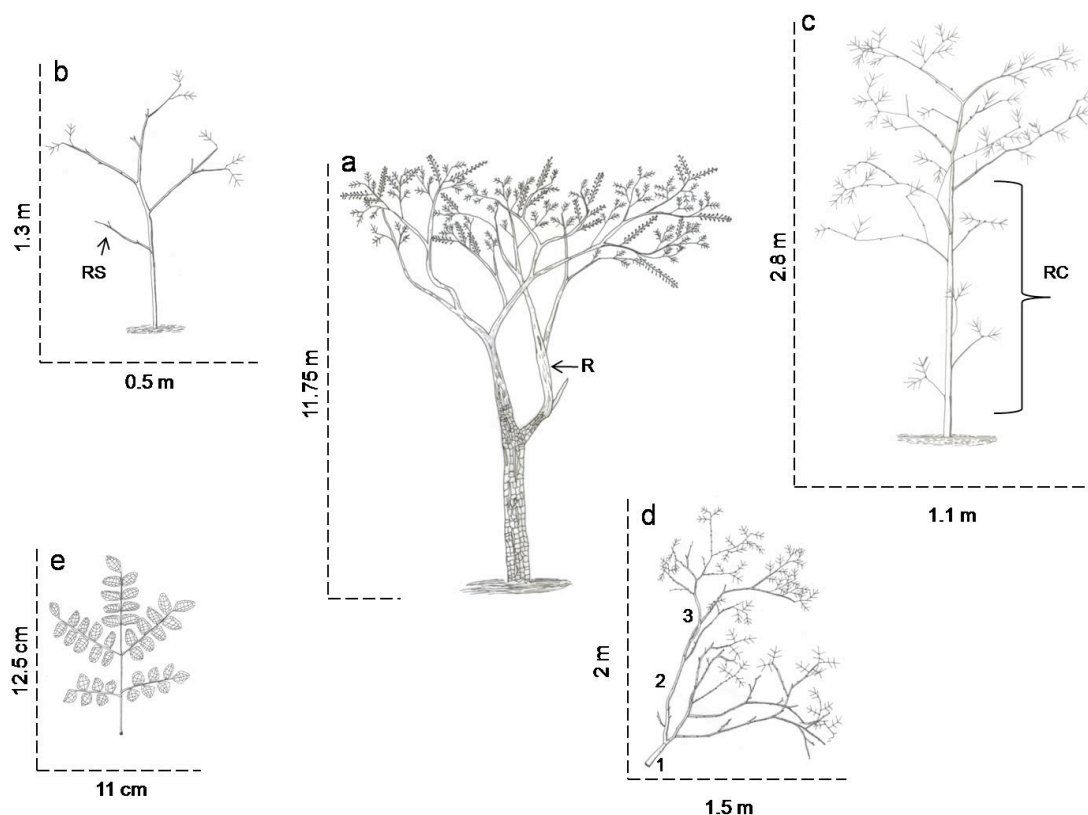


Figura 1. Arquitectura de *Caesalpinia gaumeri* Greenm: a) fustal, polieje diferenciado en tronco y ramas con reiteración traumática (R); b) brinzal, ejes plagiotrópicos y ramas secas (RS); c) latizal, eje principal simpodial con ramificación monocasio; ramas bajas se secarán y caerán (RC); d) rama con órdenes de ramificación sucesivos (1, 2, 3) plagiotrópicos, crecimiento simpodial monocasio y siléptico; e) hoja dística imparipinnada.

La orientación de la rama de primer orden en relación al eje principal es ascendente para los brinzales y latizales ( $31.2$  y  $36.6^\circ$ ) y difusa para los fustales ( $51^\circ$ ) (Cuadro 1). Las inflorescencias se presentan en racimos con posición axilar, de desarrollo acrópeto y filotaxia helicoidal (Figura 2a); las flores son amarillas zigomorfas con manchas de color naranja en el pétalo central y hermafroditas; las

primeras defloran y caen y sólo las apicales se transforman en fruto (Figura 2b). Las hojas jóvenes (Figura 2a) presentan una coloración rojiza por antocianinas que no se observa en las maduras (Figura 2b).

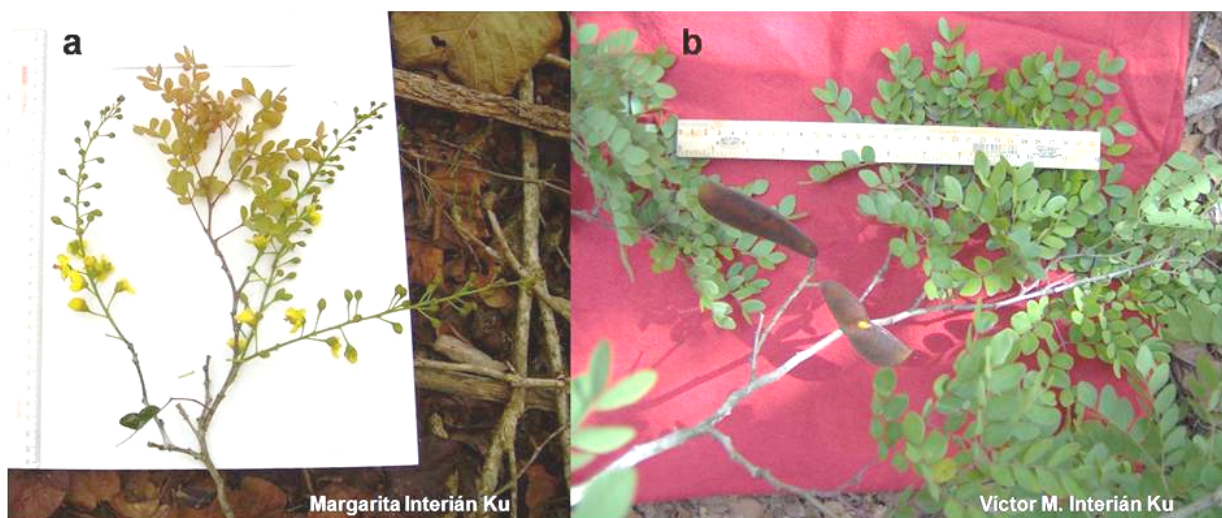


Figura 2. *Caesalpinia gaumeri* Greenm: a) racimos b) frutos.

Es común encontrar lesiones y cavidades en la parte interna del tronco en la etapa fustal como respuesta al daño causado por el alojamiento de larvas y hormigas adultas *ho'och* (*Pachycondyla villosa* Fabricius) y modificación arquitectónica a manera de reiteraciones traumáticas silépticas (R en Figura 1a) como respuesta al daño físico de las ramas.

El análisis de varianza entre clases de tamaño mostró diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.001$ ) en los atributos dasométricos: DAP, altura total, altura de copa y a la primera rama, longitud de rama de primer orden y longitud de entrenudo, y significativas ( $P \leq 0.05$ ) para el ángulo de inserción de rama de primer orden y longitud de rama de tercer orden (Cuadro 1). Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para DAP y ángulo de inserción de rama de tercer orden entre tipos de suelo y sólo para DAP entre clases de tamaño dentro de tipo de suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para atributos dasométricos de *Caesalpinia gaumeri* Greenm.

Fuente de variación	gl	DAP	AT	ALCOP	APRA	ARPO	ARSO	ARTO
Clases de tamaño	2	428.71***	235.24***	54.10***	66.56***	841.34*	539.13ns	215.57ns
Tipos de suelo	1	9.54*	0.4333ns	1.25ns	0.1320ns	17.59ns	536.85ns	1506.38*
BFL(SUE)	2	8.74*	0.5404ns	0.1958ns	0.1094ns	204.18ns	123.73ns	257.09ns
Error	18	1.75	0.4554	0.5204	0.6313	232.63	589.11	311.79

		LRPO	LRSO	LRTO	LENT	LLHO	LBHO
Clases de tamaño	2	317824.02***	1840.33ns	2559.50**	17923.57***	13.89ns	4.16ns
Tipos de suelo	1	1160.65ns	2353.03ns	852.76ns	2262.04ns	1.91ns	0.0135ns
BFL(SUE)	2	2193.49ns	847.24ns	219.39ns	764.69ns	1.94ns	2.56ns
Error	18	2082.79	894.22	377.68	1661.51	5.81	3.74

gl = grados de libertad; BFL(SUE) = clases de tamaño dentro de tipos de suelo; DAP = diámetro en cm, a 1.3 m de altura; AT = altura total del árbol en m; ALCOP = altura de copa en m; APRA = altura a primera rama en m; ARPO = ángulo de inserción de rama de primer orden en grados; ARSO = ángulo de inserción de rama de segundo orden en grados; ARTO = ángulo de inserción de rama de tercer orden en grados; LRPO = longitud de rama de primer orden en cm; LRSO = longitud de rama de segundo orden en cm; LRTO = longitud de rama de tercer orden en cm; LENT = longitud de entrenudos en cm; LLHO = longitud de la lámina de la hoja en cm; LBHO = longitud de la base de la hoja en cm. \*\*\* =  $P \leq 0.001$ ; \*\* =  $P \leq 0.01$ ; \* =  $P \leq 0.05$ ; ns = sin diferencias significativas.

Respecto a los atributos dasométricos por clases de tamaño, los fustales presentaron los mayores valores promedio (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) de DAP, altura total de copa y a la primera rama, longitudes de rama de primer y tercer orden y de entrenudos, mientras que los brinzales y latizales tuvieron promedios menores de altura total y de copa así como ángulo de inserción de rama de primer orden (Cuadro 2). Respecto a los tipos de suelo, los individuos que crecen en luvisol cuentan con mayores valores promedio de DAP y ángulo de inserción de rama de tercer orden y los que crecen en leptosol tienen mayores longitudes de rama de segundo orden (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores promedio de atributos dasométricos para *Caesalpinia gaumeri* Greenm.

		N	DAP	AT	ALCOP	APRA	ARPO	ARSO	ARTO
<b>Clases de tamaño</b>	Brinzal	8	0.671b	0.994c	0.597c	0.361b	*31.21b	65.22a	58.26a
	Latizal	8	1.32b	2.87b	1.65b	1.00b	*36.56ba	49.76a	52.80a
	Fustal	8	13.66a	11.18a	5.53a	5.65a	**51.03a	62.27a	47.88a
	<b>DMSH</b>		1.69	0.8611	0.9206	1.0139	19.46	30.97	22.53
<b>Tipos de suelo</b>	<i>K'ankab</i>	12	5.85a	5.15a	2.82a	2.26a	40.46a	54.35a	60.91a
	<i>Tzek'el</i>	12	4.59b	4.88a	2.37a	2.41a	38.74a	63.81a	45.06b
	<b>DMSH</b>		1.13	0.579	0.619	0.682	13.08	20.81	15.14
			LRPO	LRSO	LRTO	LENT	LLHO	LBHO	
<b>Clases de tamaño</b>	Brinzal	8	26.30b	36.39a	18.16b	17.31b	13.04a	9.32a	
	Latizal	8	62.31b	49.92a	25.04b	22.19b	15.31a	10.10a	
	Fustal	8	388.13a	66.66a	52.00a	101.63a	13.01a	8.66a	
	<b>DMSH</b>		58.24	38.16	24.80	52.01	3.07	2.47	
<b>Tipos de suelo</b>	<i>K'ankab</i>	12	165.87a	41.09a	25.77a	56.75a	13.50a	9.34a	
	<i>Tzek'el</i>	12	151.96a	60.89b	37.70a	37.33a	14.07a	9.38a	
	<b>DMSH</b>		39.14	25.65	16.67	34.96	2.07	1.66	

N = número de individuos en cada clase. DMSH = diferencia mínima significativa honesta. Valores seguidos por letras iguales entre hileras no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P > 0.05$ ). Orientación con respecto al eje principal: ascendente (\*) y difuso (\*\*). Ver el significado de las siglas en el cuadro 1.

El análisis discriminante canónico (ADC) para los atributos dasométricos indicó que las primeras dos funciones discriminantes (FD) explicaron el 99% de la variación total (Figura 3). Las variables que contribuyeron a determinar la FD1 (96.5%) fueron: altura total, longitud de rama de primer orden, DAP, altura a la primera rama y altura de copa, lo cual indica que el plano arquitectónico del árbol se imprime desde el principio de las etapas de desarrollo, privilegiando la expresión de esos caracteres para alcanzar el estrato superior. Para la FD2 (2.5%) los atributos de importancia fueron: ángulo de inserción de rama de tercer orden y longitud de rama de segundo orden, cualidades relacionadas con la anchura de copa. La figura 3 muestra una clara separación entre fustales y latizales, pero no así entre latizales y brinzales. Sin embargo, los latizales que crecen en suelos luvisol se separan de los brinzales. De acuerdo con las significancias estadísticas del cuadro 3, no existe una separación de individuos por tipos de suelo dentro de clase de tamaño.

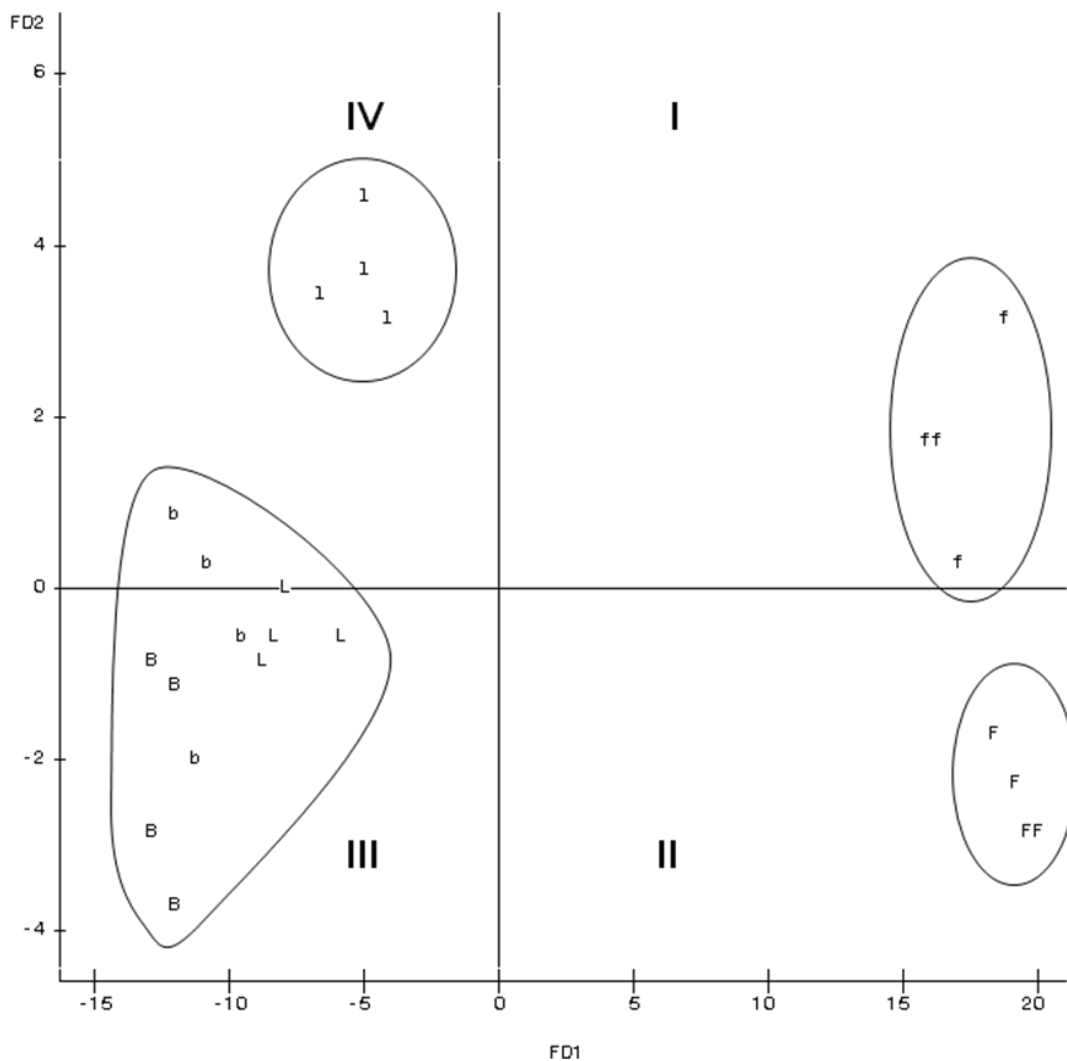


Figura 3. Distribución de *Caesalpinia gaumeri* Greenm (24 individuos) con base en las primeras dos funciones discriminantes (FD1, FD2): brinzales en suelos *k'ankab* (B) y *tzekek'el* (b), latizales en suelos *k'ankab* (L) y *tzekek'el* (I), fustales en suelos *k'ankab* (F) y *tzekek'el* (f).

Cuadro 3. Valores de probabilidad de la distancia de Mahalanobis entre clases de tamaño dentro de tipos de suelo para *Caesalpinia gaumeri* Greenm.

Clases de tamaño	de	Brinzal		Latizal		Fustal	
		<i>K'ankab</i>	<i>Tzek'el</i>	<i>K'ankab</i>	<i>Tzek'el</i>	<i>K'ankab</i>	<i>Tzek'el</i>
Brinzal	<i>K'ankab</i>	----					
	<i>Tzek'el</i>	45.42ns	-----				
Latizal	<i>K'ankab</i>	1.55ns	0.8659ns	-----			
	<i>Tzek'el</i>	4.68*	2.80ns	1.35ns	-----		
Fustal	<i>K'ankab</i>	52.02***	47.12***	37.75***	32.48***	-----	
	<i>Tzek'el</i>	45.48***	40.29***	32.06***	25.73***	1.49ns	-----

\*\*\* diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.001$ ), \* diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), ns = sin diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

### **3.6.2 *Gymnopodium floribundum***

Presenta un patrón de crecimiento simpódico, indeterminado y siléptico del eje principal, por superposición indefinida de ejes dorsiventrales mixtos (plagiotrópicos y ortotrópicos), con filotaxia helicoidal (Figura 4). Cada eje distal de relevo cuelga por su propio peso (Figuras 4c y 4d), el renuevo se origina en la parte superior al inicio de la curva del eje colgante (Figura 4c). Los retoños en la parte distal del eje se convierten en ramas mientras que los proximales forman parte del tronco. El patrón de ramificación es simpodial monocasio, de orientación combinada y siléptico, la orientación de la rama de primer orden con respecto al eje principal es ascendente para latizal y fustal ( $36.6$  y  $51^\circ$ ) y difusa para brinzal ( $31.2^\circ$ ) (Cuadro 2). Es común encontrar reiteraciones traumáticas parenquimatosas en forma de nudos bayoneta (RNB) en ramas de primer orden (Figuras 4b, 4c y 4d), como respuesta a los múltiples daños físicos a los que está expuesta esta especie por encontrarse en el estrato medio-bajo del dosel y complejos de reiteraciones (CR) adaptativas en ramas de primer y segundo orden como parte del proceso natural de crecimiento de los latizales (Figura 4c). Presenta una gran cantidad de inflorescencias tipo panículas racemosas que se desarrollan en la periférica de la copa en la parte terminal y axilar de las ramas, en forma acrópeta y se estructuran en filotaxia helicoidal; las flores son trímeras y hermafroditas (Figura 5).

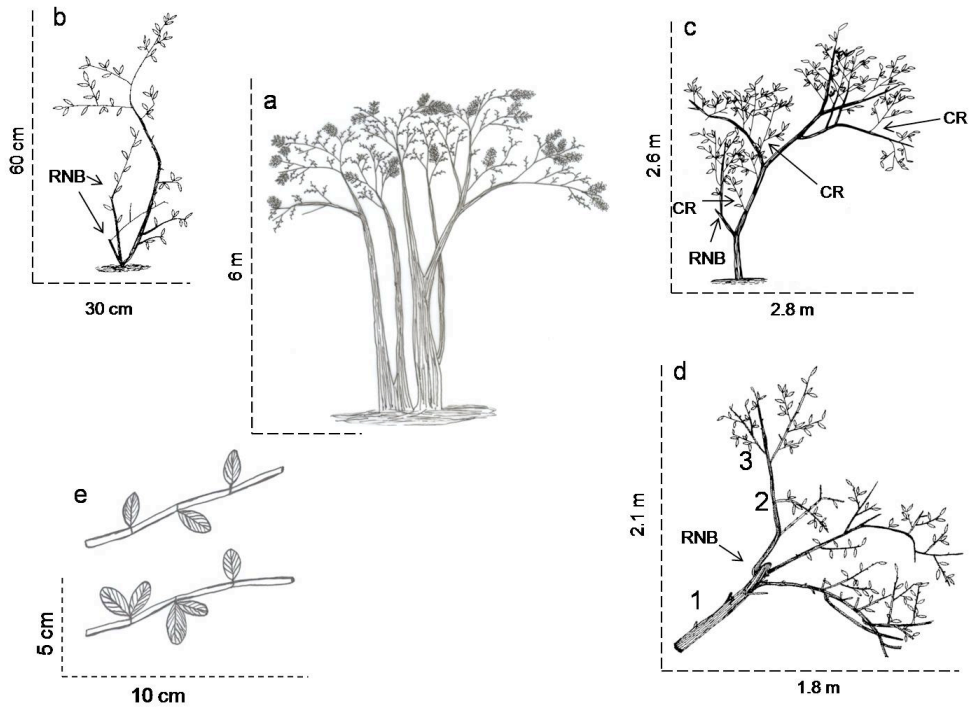


Figura 4. Arquitectura de *Gymnopodium floribundum* Rolfe: a) fustal poliejes; b) brinzal, de crecimiento simpódico monocasio alternado, con reiteraciones traumáticas que muestran nudo bayoneta (RNB); c) latizal, con desarrollo simpodial dicasio y la parte distal colgante mientras que la proximal es sustituyente del tronco o eje principal con crecimiento simpodial monocasio y reiteraciones traumáticas con nudo bayoneta (RNB) más complejos de reiteraciones (CR); d) rama con dicasios, primer, segundo y tercer orden (1,2,3); e) filotaxia alterna y una a dos hojas por nudo.





Figura 5. Inflorescencias tipo panículas racemosa de *Gymnopodium floribundum* Rolfe.

El análisis de varianza indica que a excepción del ángulo de inserción de rama de primer orden, las variables registradas tuvieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) y altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ,  $P \leq 0.001$ ) entre clases de tamaño y tipos de suelo, así como clases de tamaño dentro de tipo de suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para atributos dasométricos de *Gymnopodium floribundum* Rolfe.

Fuente de variación		gl	DAP	AT	ALCOP	APRA	ARPO	ARSO	ARTO
Clases de tamaño	2	189.09***	80.06***	36.83***	8.26***	993.64ns	1042.07**	247.89ns	
Suelo	1	29.88***	0.683ns	3.56**	1.13ns	1032.02ns	1226.51**	3186.89**	
BFL(SUE)	2	33.26***	4.28**	3.34**	0.8701ns	328.17ns	529.42*	433.92ns	
Error	18	0.918	0.520	0.417	0.401	368.24	145.04	257.88	

		LRPO	LRSO	LRTO	LENT	LLHO	LBHO
Clases de tamaño	2	12368.81**	7564.56**	995.78ns	273695.43***	10.52*	0.0765*
Suelo	1	4449.93ns	12299.86**	2159.35*	7568.60ns	0.9243ns	0.0737ns
BFL(SUE)	2	4957.93*	1060.64ns	140.80ns	8196.10ns	0.1195ns	0.0313ns
Error	18	1184.87	855.33	416.78	4797.11	1.76	0.0184

gl = grados de libertad; BFL(SUE) = clases de tamaño dentro de tipo de suelo; \*\*\* =  $P \leq 0.001$ ; \*\* =  $P \leq 0.01$ ; \* =  $P \leq 0.05$ ; ns = sin diferencias significativas. Ver significado de variables en Cuadro 1.

El cuadro 5 muestra que los brinzales tuvieron copas más abiertas en comparación con fustales y latizales porque sus ángulos de inserción de ramas de segundo orden fueron significativamente mayores (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Los individuos establecidos en suelos luvisol tuvieron ramas de segundo y tercer orden con mayores ángulos de inserción (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) y los establecidos en suelos leptosol tuvieron mayores longitudes de rama de segundo y tercer orden.

Cuadro 5. Valores promedios de atributos dasométricos para *Gymnopodium floribundum* Rolfe.

		N	DAP	AT	ALCOP	APRA	ARPO	ARSO	ARTO
<b>Clases de tamaño</b>	Brinzal	8	0.610b	1.03c	0.699c	0.339b	*53.66a	70.36a	64.16a
	Latizal	8	1.80b	3.34b	2.29b	1.05b	**34.00a	48.75b	53.24a
	Fustal	8	9.56a	7.29a	4.94a	2.34a	**34.74a	53.20b	60.58a
	<b>DMSH</b>		1.22	0.920	0.824	0.808	24.49	15.37	20.49
<b>Tipo de suelo</b>	<i>K'ankab</i>	12	5.11b	3.72a	2.26b	1.46a	47.36a	64.59a	70.85a
	<i>Tzek'el</i>	12	2.87a	4.06a	3.03a	1.03a	34.25a	50.29b	47.81b
	<b>DMSH</b>		0.822	0.618	0.554	0.543	16.46	10.33	13.77
			LRPO	LRSO	LRT0	LENT	LLHO	LBHO	
<b>Clases de tamaño</b>	Brinzal	8	10.70a	23.94b	19.07a	35.40b	2.86b	0.320b	
	Latizal	8	53.25ba	81.54a	40.58a	87.50b	5.12a	0.506a	
	Fustal	8	89.25b	71.41a	24.66a	378.63a	4.31ba	0.465ba	
	<b>DMSH</b>		43.92	37.32	26.05	88.38	1.69	0.173	
<b>Tipo de suelo</b>	<i>K'ankab</i>	12	37.45a	36.32b	18.62b	149.42a	4.29a	0.486a	
	<i>Tzek'el</i>	12	64.68a	81.60a	37.59a	184.93a	3.89a	0.375a	
	<b>DMSH</b>		29.52	25.08	17.51	59.40	1.14	0.116	

N = número de individuos en cada clase. DMSH = diferencia mínima significativa honesta. Valores seguidos por letras iguales entre hileras no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P > 0.05$ ). Orientación con respecto al eje principal: ascendente (\*) y difuso (\*\*). Ver significado de variables en cuadro 1.

El ADC indicó que las primeras dos funciones discriminantes (FD) explicaron el 97.6% de la variación total (Figura 6). Las variables que contribuyeron a determinar la FD1 (94.4 %) fueron: DAP, altura total, altura de copa y longitud de entrenudos; mientras que para la FD2 (3.2%), la longitud y el ángulo de inserción de rama de segundo orden fueron las de mayor importancia. La figura 6 muestra una clara separación entre fustales, latizales y brinzales y para fustales entre tipos de suelo. Lo anterior está apoyado por los resultados que se muestran en el cuadro 6.

Ambas especies no mostraron metamorfosis, es decir, cambios en el modelo arquitectónico inducidos por cambios en la etapa de desarrollo.

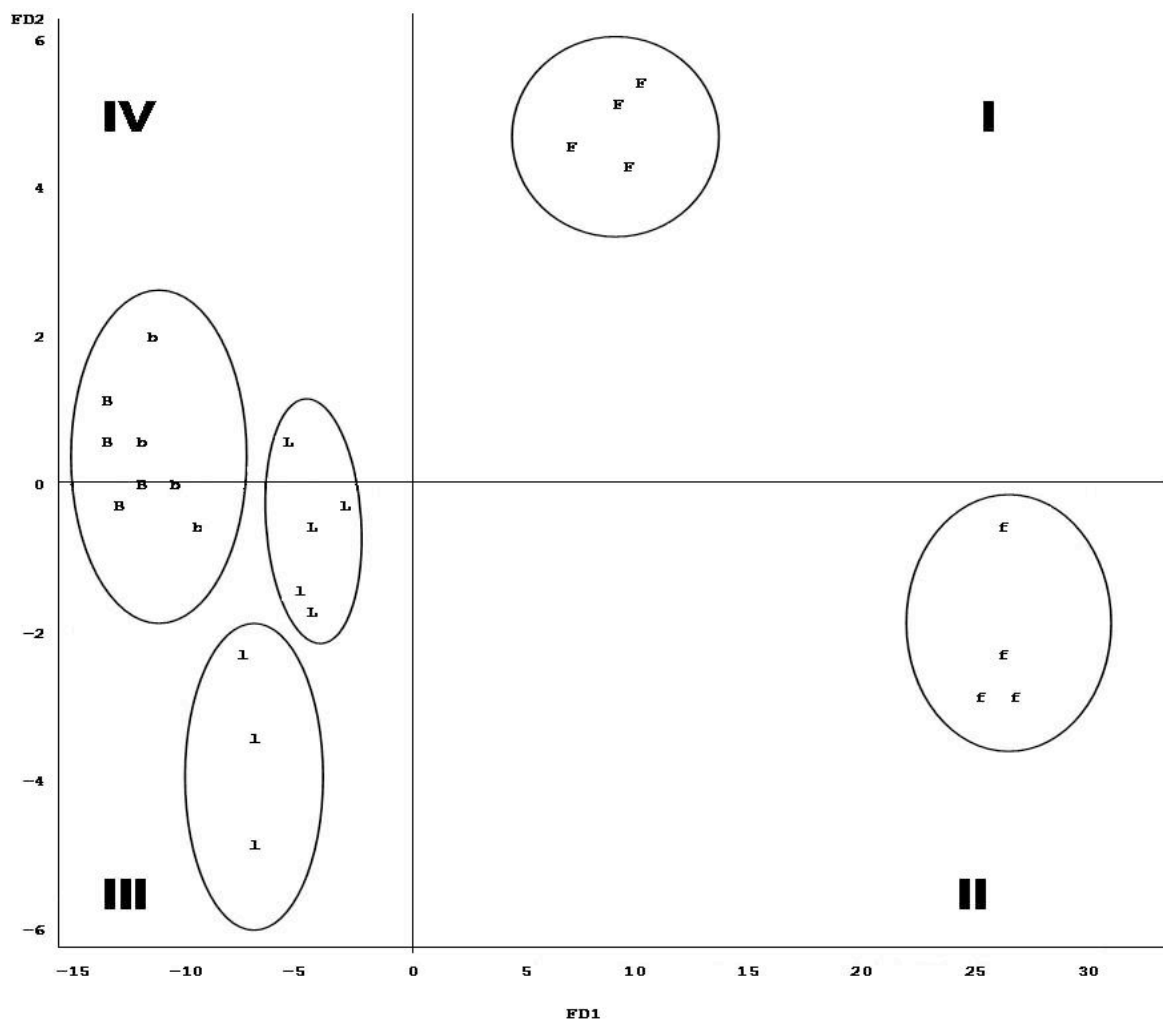


Figura 6. Distribución de *Gymnopodium floribundum* Rolfe (24 individuos) con base en las primeras dos funciones discriminantes (FD1, FD2): brinzales en suelos *k'ankab* (B) y *tzek'el* (b), latizales en suelos *k'ankab* (L) y *tzek'el* (l), fustales en suelos *k'ankab* (F) y *tzek'el* (f).

Cuadro 6. Valores de probabilidad de la distancia de Mahalanobis entre clases de tamaño dentro de tipos de suelo para *Gymnopodium floribundum* Rolfe.

Clases de tamaño		Brinzal		Latizal		Fustal	
		<i>K'ankab</i>	<i>Tzek'el</i>	<i>K'ankab</i>	<i>Tzek'el</i>	<i>K'ankab</i>	<i>Tzek'el</i>
Brinzal	<i>K'ankab</i>	----					
	<i>Tzek'el</i>	0.7186ns	-----				
Latizal	<i>K'ankab</i>	4.62*	3.12ns	-----			
	<i>Tzek'el</i>	3.85ns	2.65ns	1.20ns	-----		
Fustal	<i>K'ankab</i>	26.35***	21.82ns	10.73**	15.40**	-----	
	<i>Tzek'el</i>	77.59***	69.70***	46.90***	54.34***	17.44**	-----

Diferencias altamente significativas: \*\*\* $P \leq 0.001$ , \*\* $P \leq 0.01$ ; diferencias significativas: \* $P \leq 0.05$ ; ns = sin diferencias significativas.

### 3.7 Discusión

De acuerdo con los patrones de crecimiento y ramificación de *Caesalpinia gaumeri* en la etapa adulta, adopta el modelo Troll como todas las leguminosas, el cual se construye mediante la sobreposición continua de ejes plagiotrópicos. Los ejes principales próximos que crecen erectos construyen parte del tronco y los ejes distales con o sin crecimiento determinado forman parte de una rama (Hallé *et al.*, 1978), lo cual coincide con lo reportado por Vester (2002).

El análisis de varianza, la comparación de medias y el discriminante canónico sugieren que los individuos clasificados como brinzales y latizales en *C. gaumeri* tienen copas más angostas debido a que la orientación de las ramas de primer orden con respecto al eje principal es ascendente, mientras que en fustales las ramas son más abiertas; lo anterior posibilita el crecimiento rápido en altura para alcanzar el dosel superior y luego expandir la copa para, en cierta forma, disipar el exceso calórico absorbido al recibir la radiación solar directa. Harold y Hocker (1984) indican que los árboles con necesidad de mayor cantidad y calidad de luz solar tratan de alcanzar el dosel superior lo que limita el crecimiento en diámetro y la anchura de la copa en etapas tempranas de crecimiento.

La caída de ramas que crecen sobre el eje principal en brinzales y latizales de *Caesalpinia gaumeri*, producto de autopodas, reduce la amplitud de la copa y forma un tallo limpio en los fustales (Mäkelä y Valentine, 2006), característica que funcionalmente favorece a plantas de estratos inferiores, porque permite difundir la luz solar y aprovechar los gradientes de radiación (Küppers, 1989), mientras que en términos de aprovechamiento, la autopoda puede reducir los costos de manejo silvícola. No obstante, las lesiones presentes en los troncos de los fustales ocasionadas por la hormiga *Pachycondyla villosa* y los daños físicos por la caída de ramas o árboles vecinos, generan cavidades en la parte interna del tallo y cicatrices en la cara externa, además de fustes poco cilíndricos, torcidos y deformes que afectan la calidad y valor económico de la madera potencialmente útil para las construcciones rurales e impide la fabricación de muebles.

Debido a lo anterior y la importancia de *Caesalpinia gaumeri* para las construcciones rurales, es necesario buscar prácticas adecuadas de manejo silvícola para obtener mayor volumen de madera por superficie y de mejor calidad. Punches (2004) señala que el manejo incrementa el tamaño y el vigor de la copa y por ende la tasa de crecimiento en diámetro. Para la especie en estudio, sería de utilidad realizar podas de las ramas de primer orden a partir de la etapa latizal, eliminar individuos con mala conformación del fuste y copa; para propiciar el incremento en diámetro, la longitud del fuste y reducir la competencia entre individuos, así como los daños físicos ocasionados por la caída de ramas de árboles vecinos (Punches, 2006).

Con respecto a la presencia de *Pachycondyla villosa* en el tronco de *Caesalpinia gaumeri*, Schulz y Wagner (2002), reportan que es común encontrar este género en las cavidades de los troncos de los árboles y en gran número. Madden y Young (1992), reportan la existencia de simbiosis entre hormigas agresivas y *Acacia drepanolobium* como una repuesta a la herbivoría. Particularmente, *Pachycondyla villosa*, es una hormiga muy agresiva y se les ha observado en la parte externa del tronco de *Caesalpinia gaumeri* desde la etapa de latizal, lo que sugiere una posible interacción simbiótica, esta relación, ya se ha reportado con anterioridad por Mckey (1984), para *Leonardoxa africana* (Caesalpiniceae) en Camerún.

*Gymnopodium floribundum* se expresa morfológicamente conforme al modelo Champagnat el cual se caracteriza por la superposición de ejes mixtos ortótropos. Los próximos forman un tronco simpódico y los distales se vuelven péndulos y forman las ramas. (Hallé *et al.*, 1978), lo cual coincide con lo reportado por Vester (2002).

Esta especie es característica del estrato bajo a medio, por lo que los brinzales tienen copas más abiertas con ángulos de ramas difusos, lo que les facilita aprovechar mejor la escasa cantidad de luz que reciben en el sotobosque (Hallé *et al.*, 1978, Poorter *et al.*, 2006), mientras que los latizales y fustales que se encuentran en el estrato medio tienden a cerrar su copa, ya que las ramas de primer

orden con relación al eje principal son ascendentes, lo que responde a la competencia por espacio, que tiende a ser mayor entre adultos que entre jóvenes.

Al ser *Gymnopodium floribundum* una especie de importancia como fuente de néctar para la producción apícola, es importante fomentar la formación de tallos para incrementar el número de ramas con flores en la parte periférica de la copa o mediante fertilización con N y P para aumentar el número de tallos hasta en un 60 % (Ceccon *et al.*, 2003).

De acuerdo con la comparación de medias, los individuos de las dos especies que crecen en suelos luvisol tienen diámetros mayores pero copas compactas, a diferencia de los que crecen en suelos leptosol. Lo anterior puede explicarse con base en las condiciones del suelo, ya que a un suelo pobre en nutrientes, compacto, salino y bajo condiciones de sequía corresponden individuos de vástagos poco desarrollados y con una mayor expansión de la masa radical (Bruning y Sander, 1983). Ledig (1983), explica que las plantas son capaces de adecuar su arquitectura de acuerdo con las condiciones ambientales que le rodean para sobrevivir. White y Hood (2004), refieren que los suelos con menor porcentaje de rocas e inclinación de la pendiente (luvisol) en el estado de Yucatán, favorecen el incremento del DAP en los individuos y la densidad de árboles por unidad de superficie, lo que genera competencia y obliga a reducir la amplitud de las copas.

Algunos autores resaltan las aplicaciones de la arquitectura de los árboles en el diseño de agroecosistemas y establecimiento de plantaciones comerciales, ya que la estructura geométrica de las copas tiene implicaciones en el funcionamiento, condiciones microclimáticas e interacción planta-patógeno-herbívoro (Altieri *et al.*, 1983; Sinoquet *et al.*, 2009), tal es el caso del mango en donde se encontró que la posición apical o lateral de las ramas, meristemas y flores están relacionadas con las diferentes vías de floración y fructificación (Normand *et al.*, 2009). De este modo, la conformación de copa de *Caesalpinia gaumeri* y *Gymnopodium floribundum* son adecuados para su utilización en sistemas agroforestales, ya que la primera especie

permite el paso de luz solar, mientras que la segunda la utiliza ya que es propia del estrato bajo-medio de la estructura vertical del dosel.

La posición que ocupan estas especies en el plano vertical de la estructura arbórea es complementaria, ya que *Caesalpinia gaumeri* se ubica en el estrato superior mientras que *Gymnopodium floribundum* en el medio-inferior, además de que presentan modelos arquitectónicos diferentes en cuanto a la apertura de copa; ambas características son importantes en términos prácticos, para el diseño de sistemas agroforestales.

Es evidente que los resultados del análisis morfológico indican similitudes arquitectónicas entre las tres etapas de desarrollo estudiadas dentro de cada especie, y diferencias contrastantes entre especies, lo que significa que el modelo arquitectónico está ontogénicamente determinado para cada especie, se mantiene constante entre etapas de desarrollo (brinzal, latizal y fustal), sólo se afecta dasométricamente por factores externos como el tipo de suelo, la cantidad de luz o la competencia interespecífica y que, como cualidad de respuesta al disturbio natural (alojamiento de hormigas) o inducido (aprovechamiento de fustes y ramas), existe la tendencia a la reiteración estructural del organismo afectado.

### **3.8 Conclusiones**

Las características morfológicas y patrones de ramificación observados, ratifican el ajuste de *Caesalpinia gaumeri* al modelo Troll y *Gymnopodium floribundum* al modelo Champagnat.

Las clases de tamaño propuestas para el estudio de cada especie permitieron observar diferencias dasométricas más que arquitectónicas entre los individuos que conforman cada clase, así como dentro de tipos de suelo para los ángulos de inserción y longitudes de ramas; lo anterior se sustenta por la clara separación obtenida mediante el análisis discriminante canónico.



Los atributos dasométricos que mejor contribuyeron a la distinción entre clases de tamaño de individuos y tipos de suelo fueron: diámetro del fuste, alturas total, de copa y a la primera rama; ángulos de inserción de ramas de segundo y tercer orden, longitudes de ramas de primer y segundo orden, así como longitud de entrenudos; todos, caracteres morfológicos que implican crecimiento en altura y amplitud de copa.

Las reiteraciones traumáticas de *Caesalpinia gaumeri* causadas por daños físicos y las cavidades internas por el alojamiento de larvas y hormigas, generan fustes poco cilíndricos o torcidos con cicatrices que restan calidad a la madera impidiendo su uso para la fabricación de muebles; lo que genera una corta selectiva hacia los individuos mejor conformados al momento de llevar a cabo alguna construcción rural.

La posición que ocupa cada especie en los estratos verticales de la vegetación es ecológicamente complementaria, en cuanto a proveerse del recurso luz y evitar la competencia por espacio: en el perfil de vegetación, *Caesalpinia gaumeri* ocupa el estrato superior mientras que *Gymnopodium floribundum* el intermedio. Esta disposición de las especies en la naturaleza se puede copiar y aprovechar en el diseño de sistemas agroforestales multiestrato combinados, para ejercer adecuadamente las prácticas agrosilvopecuarias.

### **3.9 Literatura citada**

- Altieri M. A., Deborah K. L. y James R. D. 1983. Developing sustainable agroecosystems. *BioScience* 33(1): 45-49.
- Baltazar-Ramírez J.O. 2001. Modelos arquitectónicos arbóreos en selva mediana subperennifolia secundaria y primaria, ejido X'Hazil Sur y anexos, Quintana Roo. Tesis de Maestría. *El Colegio de la Frontera Sur. Chetumal, Quintana Roo.* 27p.

- Barthélémy D. y Caraglio Y. 2007. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany* 99(3): 375-407.
- Botánica Morfológica. s/a. Consultado por última vez el 10 de febrero del 2009 en la siguiente dirección electrónica: [www.biologia.edu.ar/botanica](http://www.biologia.edu.ar/botanica)
- Brayton F.W. 1984. The growing tree. The University of Massachusetts Press. 138 p.
- Bruning E.F. y Sander N. 1983. Ecosystem structure and functioning: some interactions of relevance to agroforestry. *In*: Huxley PA (Ed.) Plant Research and Agroforestry. Nairobi, Kenya. *International Council for Research in Agroforestry*. pp. 221-247.
- Ceccon, E., P. Huante y J. Campo. 2003. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the survival and recruitment of seedlings of dominant tree species in two abandoned tropical dry forests in Yucatan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 182: 387-402.
- Del Valle, A. I. 1998. Efectos del raleo en el crecimiento diamétrico de los árboles en bosques de *Camposperma* en Colombia. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* 13(1): 15 p.
- Echevery-Gómez A. 2000. Desarrollo arquitectónico y variación morfológica de cuatro especies de leguminosas de la Península de Yucatán, México. Tesis de Maestría. *El Colegio de la Frontera Sur. Chetumal, Quintana Roo*. 46 p.
- Echevery-Gómez A. y Vester H.F.M. 2001. Desarrollo arquitectónico de tres especies de *Acacia*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69: 7-14.
- Enciclopedia of Statistical Science. 2006. Wiley-Interscience, a John Wiley and Sons, Inc. Publication. New Jersey, USA. Volume 7. pp. 4439.
- García J., Mizrahi A., Butista F. 2005. Manejo campesino de la selva baja y selección de especies arbóreas para barbechos mejorados en Hocabá, Yucatán. *In*: Bautista F, Palacio G (Eds.) Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. *Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán*. pp. 195-208.

- Hallé F. y Oldeman R.A.A. 1970. Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Paris: Masson et Cie. *Monographies de Botanique et de Biologie Végétale* No. 6.
- Hallé F., Oldeman R.A.A., Tomlison P.B. 1978. Tropical trees and forests; an architectural analysis. Springer-Verlag. *Berlin Heidelberg New York*. 441 p.
- Harold, W. y Jr. Hocker. 1984. Introducción a la biología forestal. Primera edición en español. ACT Editor S.A. México. 446 pp.
- INEGI. 2005. Anuario de estadísticas por entidad federativa. Edición 2005. México. 644 P.
- Infante G. S. y G. P. Zárate de L. 2000. Métodos estadísticos, un enfoque interdisciplinario. Sexta reimposición. Editorial Trillas. México. 643 p.
- Jiménez-Rojas, E. M., A. C. Londoño-Vega y H. F. M. Vester. 2002. Descripción de la arquitectura de *Iryanthera tricornis*, *Osteopholeum platyspermum* y *Virola pavones* (Myristicaceae). *Caldasia* 24(1):66-94.
- Küppers M. 1989. Ecological significance of above-ground architectural patterns in woody plants: a question of cost-benefit relationships. *TREE* 4(12): 375-380.
- Ledig F.T. 1983. The influence of genotype and environment on dry matter distribution in plants. *In: Huxley, P.H. (ed.) Plant Research and Agroforestry*. Nairobi, Kenya. *International Council for Research in Agroforestry*. pp: 427-454.
- Levy T.S. y Hernández X.E. 1994. Aprovechamiento forestal tradicional de los hubches en Yucatán. *In: Hernández X, Bello E, Levy L (Comp.) La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados, México*. Tomo I. pp. 247-270.
- Madden, D. y T. P. Young. 1992. Symbiotic ants as an alternative defense against giraffe herbivory in spinescent *Acacia drepanolobium*. *Oecología* 91: 235-238.
- Mäkelä A. y Valentin H.T. 2006. Crown ratio influence allometric scaling in trees. *Ecology* 87(12): 2967-2972.
- Mckey, D. 1984. Interaction of the ant-plant *Leonardoxa africana* (Caesalpinaceae) with its obligate inhabitants in a rain forest in Cameroon. *Biotropica* 16: 81-99.
- McMahon T.A. 1975. The mechanical design of trees. *Scientific American* 233: 92-102.

- Moguel O.Y., Echazarreta C., Mora R. 2005. Calidad fisicoquímica de la miel de abeja *Apis mellifera* producida en el estado de Yucatán durante diferentes etapas del proceso de producción y tipos de floración. *Técnica Pecuaria de México* 43(3): 323-334.
- Moreno N.P. 1984. Glosario botánico ilustrado. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver. México. Ed. Continental S.A de C.V. 300 p.
- Morfología de Plantas Vasculares. s/a. Consultado por última vez el día 10 de febrero del 2009 en la siguiente dirección electrónica: [Facultad de Ciencias Agrarias](#), Sgto. Cabral 2131 2001- 2006 © [Universidad Nacional del Nordeste](#), Corrientes, Argentina.
- Normand F., K. Pambo B. A. K., Trottier C. y Lauri P. E. 2009. Is axis position within tree architecture a determinant of axis morphology, branching, flowering and fruiting? An essay in mango. *Annals of Botany* 103(8): 1325-1336.
- Oldeman R.A.A. 1974. L'architecture de la forêt guyanaise. *O.R.S.T.O.M, Paris. Mémoire*. ORSTOM no. 73: 204.
- Osada N. y Takeda H. 2003. Branch architecture, light interception and crown development in saplings plagiotropically branching tropical tree, *Polyalthia jenkinsii* (Annonaceae). *Annals of Botany* 91: 55-63.
- Poorter L., Bongers L., Bongers F. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-off and functional groups. *Ecology* 87(5): 1289-1301.
- Punches, J. 2006. Tree growth, forest management and their implications for wood quality. A Pacific Northwest Extension Publication. Oregon State University. University of Idaho. Washington State University. USA. 8 p.
- Ramírez C.M.A., González N.S.A., Sauri D.E. 2000. Effect of the thermic treatment of honey on variation of the quality of the same during storage. *APIACTA* 35(4): 162-170.
- SAS Institute Inc. 1999. User's guide, version 8.0 for Windows. Cary, NC. 595 p.
- Schulz, A. y T. Wagner. 2002. Influence of forest type and tree species on canopy ants (Hymenoptera: Formicidae) in Bugondo Forest, Uganda. *Oecologia* 133: 224-232.

- Sinoquet H., S. Pincebourde, B. Adam, N. Donès. 2009. 3-D maps of tree canopy geometries at leaf scale Ecological Archives E090-019. *Ecology*. 90(1): 283.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF). 2005. Diccionario forestal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 1314 p.
- Sosa V. P., A. Gómez P. y J. S. Flores. 1985. La flora de Yucatán. *Ciencia y Desarrollo*. 60: 37-46.
- Souza N. N. 1981. Plantas melíferas y poliníferas que viven en Yucatán. Fondo Editorial de Yucatán, Mérida. México. 59 p.
- Standley P.C. y J. A. Steyermark. 1946. Flora de Guatemala. Volumen 24, parte IV. Chicago Natural History Museum. USA. 493 p.
- Tomlinson P.B. 1978. Branching and axis differentiation in tropical trees. *In*: Tomlinson P.B and Zimmermann MH (eds). *Tropical trees as living systems*. Cambridge University Press. pp: 187-207.
- Tomlinson P.B. 1983. Tree architecture. *American Scientist* 71: 141-149.
- Tomlinson P.B. 1987. Architecture of tropical plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 1-21.
- Tomlinson P.B. y Hill A.M. 1973. Growth habit of tropical trees: some guiding principles. *In*: Meggers JB, Ayensu ES, Duckworth WD (eds.) *Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review* (Smithsonian Institute Press, Washington) pp. 129–143.
- Torquebian E. 1981. Analyse architectural de la forêt de Los Tuxtlas (Veracruz), Mexique. Tesis Doctoral. *Académie de Montpellier. Montpellier, Francia*. 51 p.
- Valdez H.J.I. 2002. Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, costa Pacífica de México. *Madera y Bosques. Número especial* 1: 129-145.
- Vester H.F.H. 2002. Modelos arquitectónicos en la flora arbórea de la Península de Yucatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 71: 45-57.
- White D.A. y Hood C.S. 2004. Vegetation patterns and environmental gradients in tropical dry forests of the northern Yucatán Peninsula. *Journal of Vegetation Science* 15: 151-160.

### 3.10 Glosario

#### 1.- Clases de tamaño:

*Brinzales.* Árboles jóvenes o plántulas que crecen vigorosamente y sin ramas secas, (SECF, 2005) menores a 1.5 m de altura (modificado de Valdez, 2002).

*Latizales.* Árboles jóvenes que inician su poda natural (SECF, 2005), con una altura mayor o igual a 1.5 m y hasta 2.5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP = 1.3 m sobre el suelo) (modificado de Valdez, 2002).

*Fustales.* Árboles maduros o adultos que se mantienen hasta el final de la vida de la masa forestal o bosque (SECF, 2005), tienen un DAP mayor de 2.5 cm (modificado de Valdez, 2002).

**2.- Crecimiento del eje principal** (Tomlinson y Gill, 1973; Tomlinson, 1978, 1983; Hallé et al., 1978; Brayton, 1984; Barthélémy y Caraglio, 2007):

- **Eje.** Producto de un meristemo apical.

- **Fuste.** Tronco, formado de un eje principal (monopodio) o del encadenamiento de ejes (simpodio).

- **Patrón:**

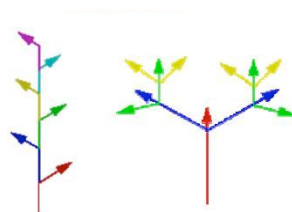
*Monopódico o excurrente,* origina un tronco principal por la actividad de una yema apical.

*Simpódico o deliquescente,* tronco o rama formada por el encadenamiento de ejes con crecimiento determinado; se origina por la actividad de varias yemas axilares sucesivas. La yema apical inicial es sustituida por una yema axilar que produce una rama que crece verticalmente y el patrón continúa repitiéndose sucesivamente por acción de yemas axilares. Todas las ramas pueden alcanzar la misma altura.

Monopodial



Simpodial



Monocasio, Dicasio

Imagen: <http://www.scribd.com/doc/7241003/Exomorfolog-A>

- **Forma:**

*Determinado*, el meristemo apical se convierte en una inflorescencia terminal, zarcillo o bola de parénquima (bayoneta), por lo que ahí se detiene el crecimiento del eje.

*Indeterminado*, sin fin determinado.

- **Actividad:**

*Proléptico*, surgido a partir de yemas latentes

*Siléptico*, originado de yemas sin latencia.

**3.- Ramificación** (Tomlinson y Gill, 1973; Tomlinson, 1978, 1983; Hallé et al., 1978; Brayton, 1984; Barthélémy y Caraglio, 2007):

- **Patrón:**

*Monopodial*. Origina un tallo principal por la actividad de una yema apical.

*Simpodial*, derivado de la actividad de una sola yema lateral en cada evento de crecimiento; en este caso se dan dos posibilidades: a) que las sucesivas yemas y ramas se formen alternadamente a cada lado del eje, con lo que se adquiere una conformación aproximadamente en zigzag sin un eje principal y, b) que las sucesivas yemas se formen siempre del mismo lado.

- **Orientación y simetría** (Tomlinson y Gill, 1973; Tomlinson, 1978, 1983; Hallé et al., 1978; Brayton, 1984; Barthélémy y Caraglio, 2007):

*Ortotrópico*, eje erecto, con orientación vertical, simetría radial, filotaxia helicoidal y que normalmente no forma flores.

*Plagiotrópico*, los ejes son más o menos horizontales, con simetría dorsiventral, ramificados en dos direcciones y que frecuentemente florecen.

*Combinado o mixto*, un eje cambia la orientación presentando los dos tipos de ejes.

- **Órdenes de ramificación con respecto al eje principal:** Directamente del eje principal es orden 1 y en sucesión, segundo y tercero (McMahon, 1975).

- **Ángulo de inserción de ramas** (Moreno, 1984; Osada y Takeda, 2003):

*Ascendente*. Ángulo de 16 a 45°.

*Difuso*. Ángulo de 46 a 75°.

• **Longitud de ramas y entrenudos** (Osada y Takeda, 2003; Botánica morfológica s/a; Morfología de plantas vasculares s/a):

*Largas.* Que incrementan la longitud de las plantas.

*Corta.* Que tienden a sostener estructuras reproductoras.

**4.- Estructuras reproductivas** (Tomlinson y Gill, 1973; Tomlinson, 1978, 1983; Hallé et al., 1978; Brayton, 1984; Barthélémy y Caraglio, 2007):

• **Posición:**

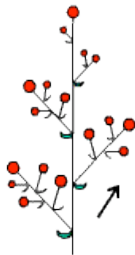
*Apical.* En el extremo distal de la rama.

*Axilar.* En la axila de la rama y en cualquier posición por debajo del ápice.

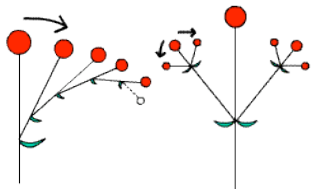
• **Inflorescencias:**

**Desarrollo:** *Acrópeto*, que desarrolla desde la base hacia el ápice.

**Morfología:** *Monopodiales Complejas: Panícula o panoja;* es un caso especial de racimo doble, con ejes cerrados y con inflorescencias parciales complejas botrioides o monopodiales en la base, simplificadas hacia el ápice (disminuyen en número de flores y ramas).



**Simpodiales Complejas: Cimoides,** desarrollan una o dos inflorescencias parciales en la axila de los profilos, inmediatamente por debajo de la flor terminal. Dichas inflorescencias pueden ser **monocasios o dicasios**. *Simpodial monocasio:* una sola inflorescencia parcial se desarrolla debajo de la flor terminal (imagen izquierda) y *Simpodial dicasio:* dos inflorescencias parciales se desarrollan debajo del eje principal (imagen derecha).





**5.- Reiteración.** Repetición de la forma de crecimiento dentro de la copa de un árbol, o repetición de la arquitectura primaria de un modelo de crecimiento dentro de un mismo individuo (Hallé *et al.*, 1978; Tomlinson, 1978, 1987; Barthélémy y Caraglio, 2007).

*Total.* Repetición completa del modelo arquitectónico primario de crecimiento dentro de la copa de un individuo.

*Parcial.* Repetición parcial del modelo arquitectónico primario de crecimiento dentro de la copa de un individuo.

*Adaptativa.* Repetición del modelo arquitectónico primario de crecimiento dentro de la copa de un individuo, como respuesta a factores extremos.

*Traumática.* Repetición del modelo arquitectónico primario de crecimiento dentro de la copa de un individuo, como respuesta al daño provocado en el tronco principal o en la yema apical.

*Proléptica.* Surgida a partir de yemas latentes.

*Siléptica.* Originada de yemas sin latencia.

**6.- Metamorfosis.** Cambio de un modelo arquitectónico a otro, inducido por el cambio en la etapa de desarrollo del individuo (Botánica morfológica s/a; Morfología de plantas vasculares s/a).

**7.- DMS.** Diferencia mínima significativa. Es el valor mínimo por el cual deben diferir dos medias para ser declaradas de poblaciones distintas (Infante y Zárate, 2000).

**8.- Valores promedio.** La media aritmética de n observaciones de la variable X, se define como la suma de las observaciones entre el número total de estas (Infante y Zárate, 2000).

**9.- Distancia de Mahalanobis.** Parámetro que determina la distancia entre dos poblaciones (Enciclopedia of Statistical Science, 2006).

## CAPÍTULO IV. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE *Caesalpinia gaumeri* Greenm EN DZAN, YUCATÁN

Interián-Ku V. M.<sup>1</sup>, Borja de la Rosa M. A.<sup>3</sup>, Valdez-Hernández J. I.<sup>2</sup>, García-Moya E.<sup>1</sup>, Romero-Manzanares A.<sup>1</sup>, Vaquera-Huerta H.<sup>4</sup>.

### 4.1 Resumen

*Caesalpinia gaumeri* Greenm es una especie muy apreciada en la construcción de casas y postes para cercas en la región maya de Yucatán. Con la finalidad de contribuir al conocimiento tecnológico de los atributos que induzcan a proponer aprovechamientos potenciales de la madera en esta especie, se describieron sus características anatómicas y propiedades físicas. El presente trabajo se realizó en cuatro árboles de una selva baja caducifolia de Yucatán. Se encontró que el duramen de la madera es de color café oscuro y castaño en la albura, con hilo entrecruzado, veteado pronunciado, de brillo y textura media, porosidad difusa, parénquima aliforme, elementos de vaso con placa de perforación simple y punteaduras pequeñas e inclusiones, rayos uniseriados y biseriados extremadamente bajos y finos, fibras de longitud mediana con paredes extremadamente gruesas, densidad básica pesada y por su contracción volumétrica total como media, no se observa una transición clara entre madera temprana y tardía. Estas características corresponden a las de árboles desarrollados en ambientes restrictivos y tolerantes a déficits de humedad como el típico de la selva baja caducifolia de esta región y sugieren previsión para cavitación o embolismo. Por las características anatómicas y propiedades físicas de la madera tales como la densidad y durabilidad a la intemperie, se puede utilizar en la elaboración de durmientes, postes, duelas y artesanías. Sin embargo, su uso para carpintería y trabajos finos está limitado por defectos como el grano entrecruzado y presencia de cristales de tipo romboidal.

**Palabras clave:** Kitimché, construcciones rurales, estructuras celulares, selva baja caducifolia, usos potenciales.

**Abstract**

*Caesalpinia gaumeri* Greenm, is a highly prized species for construction of houses and poles in the Mayan region of Yucatan. With the finality of know and determine their physical and anatomic characteristics to suggest the potential uses of wood, this work was conducted in four trees in a tropical deciduous forest of Yucatan. It was found that the wood is dark brown color in the heartwood and chestnut in the sapwood, wire cross, pronounced veining, texture and brightness average, diffuse porosity, aliform parenchyma, elements of vessel with simple perforation plates, small pits and inclusions, uniseriate and biseriate rays extremely low and thin, fiber medium and cellular wall extremely thick, heavy density and for volumetric contraction as medium, there is no clear transition between early and late wood. This characteristic corresponds to the tree developed in restrictive environments such as humidity typical of the region study and suggests forecast cavitation or embolism. The anatomic characteristic and physics properties such as heave density and natural durability, the wood of this species can be used in the development of ties, poles, staves, and crafts. The wire cross and rhomboidal crystal of the wood limits the use in carpentry.

**Keywords:** Kitimché, rural constructions, cellular structures, tropical deciduous forest, potential uses.

## 4.2 Introducción

El árbol está formado por tres partes esenciales: el tallo para el soporte mecánico, almacenamiento y conducción de sustancias alimenticias entre la raíz y la copa; la raíz para el anclaje, absorción de agua y nutrimentos del suelo y la copa, que contiene las hojas para el intercambio de gases con su entorno y elaboración de sustancias necesarias para el desarrollo del árbol en su conjunto (Hallé *et al.*, 1978; Harold y Hocker, 1984). De acuerdo con estos autores, durante el crecimiento se mantiene la proporcionalidad entre estas tres partes, lo que le confiere estabilidad y resistencia mecánica, esta última característica convierte al tallo en el sostén de la planta y, por la dureza de su estructura, en la cualidad que le concede verticalidad a la planta.

Las características anatómicas de la madera también resultan ser una fuente de información muy importante para saber cómo actúan las plantas para el logro tanto del sostén, cumpliendo con los requerimientos de seguridad mecánica, como de la conductividad hidráulica óptima (Robert *et al.*, 2009). De acuerdo con Zimmerman (1978), la evolución de la función mecánica y de conducción en las angiospermas se separó por especialización de las células en elementos traqueales en vasos para la conducción de agua y fibras para sostén. Las fibras son más cortas que las traqueidas, de modo que la longitud de las traqueidas no sirve para la función mecánica sino para el incremento de la conductividad hidráulica. La estructura del xilema depende de los requerimientos del medio y junto con su función, ha sido motivo de trabajo experimental. Eficiencia, seguridad y riesgo son tres conceptos implícitos en la hidráulica del sostén (Zimmerman, 1978; Tomlinson, 1983; King, 1987; Robert *et al.*, 2009). Se desconoce la forma óptima que armonice todas las variables involucradas en el sistema mecánico-hidráulico, pero hay una tendencia a favorecer el diámetro de las traqueidas para incrementar las tasas de flujo volumétrico y reducir la probabilidad de embolismo (Niklas, 1986). Conductos de xilema de gran volumen son más vulnerables a la cavitación que conductos pequeños, ya que de su diámetro va a depender el tamaño de las burbujas de aire,

cuando sucede un cambio de fase abrupto del estado líquido del agua a vapor, caso que puede suceder con cierta probabilidad en plantas tropicales sujetas a estrés hídrico (Sperry *et al.* (1994); la vulnerabilidad está positivamente correlacionada con el volumen del conducto, mientras que, la conductancia hidráulica lo está por unidad de área de xilema.

La evolución de los vasos desde las traqueidas fue presumiblemente, el resultado de presiones selectivas para mayor eficiencia en la conductancia del xilema; sin embargo, un sistema de conducción basado en vasos pequeños ( $<8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ) debe ser fuertemente selectivo para especies perennes de áreas templadas, dada su necesidad de mantener el transporte de agua. Un sistema vascular basado en traqueidas debería ser propio para la fenología perenne en zonas templadas. La posesión de vasos grandes ( $1 \times 10^{-12} \text{ m}^3$ ) en ambientes templados requiere evitar embolismo a cambio de una mayor eficiencia de conducción. Esto deriva en la evolución de la fenología de caducifolias, donde se genera tolerancia al embolismo mediante la presencia de anillos con un gran número de poros por unidad de superficie. En términos evolutivos, hay diferencias en cuanto a las características de los elementos traqueales, como lo ejemplifica el Cuadro 1.

Cuadro 1. Evolución de los elementos traqueales.

Caracter	Primitivo	Avanzado
Longitud de célula	Largo	Corto
Diámetro	Pequeño	Grande o ancho
Transcorte	Angular	Circular
Pared terminal	Inclinada	Horizontal
Perforación	Escaleriforme	Simple
Puntuaciones	Escaleriformes	Circulares
	Opuestas	Alternas
Espirales terciarias	No	Sí

Fuente: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema15/15-7evoxil.htm>

En las plantas de medios deficitarios de agua que requieren transporte rápido del líquido que precipita en los cortos períodos de lluvia, pueden encontrarse elementos traqueales cortos con placas escaleriformes, las cuales en lugar de ayudar al transporte líquido presentan desventaja en términos de rapidez. Este tipo de elemento traqueal por su desventaja funcional, raramente se presenta en plantas xerófitas. De acuerdo con Rallo *et al.* (2008), en términos ecológicos las especies localizadas en zonas de climas fríos presentan alta incidencia de perforaciones escaleriformes, mientras que las especies de zonas secas y altas temperaturas, se caracterizan por la presencia casi exclusiva de perforaciones simples. Esto estaría relacionado con la adaptación de las especies, ya que la funcionalidad de las perforaciones escaleriformes con respecto al movimiento de agua, ha demostrado que oponen mayor resistencia al flujo pero tienen una función significativa atrapando las burbujas de aire que se desarrollan en los vasos, para evitar problemas de embolismo.

El tallo o tronco de los árboles es uno de los materiales más utilizados por las diferentes culturas a lo largo de la historia humana para la fabricación de armas, herramientas, vehículos de transporte y casas (Navarro-Martínez *et al.*, 2005). En la región maya de Yucatán se aprovechan entre 100 y 250 especies vegetales (Toledo *et al.*, 2008), que se desarrollan en las reservas forestales tradicionales destinadas para el manejo, uso y conservación (Cob *et al.*, 2003), pero en particular, *Caesalpinia gaumeri* (Kitimché), resulta ser muy apreciada para la construcción de casas estilo Maya y para postes, por las cualidades estructurales del tallo (Levy y Hernández, 1994).

Las condiciones ambientales que rodean a los árboles durante su crecimiento y su capacidad genética le confieren características fenotípicas variables (Harold y Hocker, 1984) inclusive a nivel de las estructuras anatómicas (León y Espinoza, 2001); por ello, es importante conocer a detalle la estructura anatómica de la madera de tronco del kitimché, para proponer en términos tecnológicos, la mejor y nuevas posibilidades de aprovechamiento (Borja y Tamarit, 1997; León y Espinoza, 2001).

### **4.3 Objetivos**

El presente trabajo tiene la finalidad de conocer y determinar las características anatómicas y propiedades físicas de *Caesalpinia gaumeri*, kitimché, en dos líneas de investigación: 1) las cualidades anatómicas y adaptaciones del sistema conductor para la sobrevivencia de la especie y 2) determinar las propiedades físicas de la madera para proponer nuevas opciones de aprovechamiento.

### **4.4 Hipótesis**

La experiencia de los mayas para reconocer madera de calidad para construcción sería demostrable si las cualidades anatómicas probadas confirman el destino del aprovechamiento tradicional, pero además se esperaría que el conocimiento de las propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* permita recomendar otras capacidades tecnológicas, aparte del uso para construcción rural.

### **4.5 Materiales y métodos**

#### **4.5.1 Obtención de las muestras de madera**

Se seleccionaron cuatro árboles vigorosos, con fuste limpio, sin signos de enfermedades, en edad reproductiva y con diámetros similares, los cuales fueron derribados a 30 cm de altura sobre el suelo y del fuste limpio de cada árbol se obtuvieron dos trozas de 1.20 m de longitud. Al final de la primera troza de cada árbol se obtuvo una rodaja de cinco cm de grosor (cuatro en total).

#### **4.5.2 Caracterización macroscópica**

Se elaboraron tablillas de cortes típicos (transversal, longitudinal radial y tangencial), con dimensiones de 1 x 7 x 15 cm tanto de albura como de duramen. Se determinaron las características macroscópicas a simple vista y con ayuda de una lupa 10 X. Posteriormente, se clasificaron según Tortorelli (1956). El color se determinó con la carta de colores Munsell (1975).

### 4.5.3 Caracterización microscópica

Se cortó una rodaja por árbol (4 árboles en total) de cinco centímetros de grosor a una altura de 1.3 m y se obtuvieron 130 cubos de 1.5 x 1.5 x 1.5 cm: medula (18), duramen (56) y albura (56). Después, se seleccionó un cubo por zona con las caras típicas y se colocaron en un digestor casero<sup>1</sup> con agua en un vaso de precipitado a una presión de 2.5 kg cm<sup>-2</sup> durante dos minutos para ablandarlos y posteriormente se colocaron en una solución de alcohol y glicerina en partes iguales. De cada cubo se obtuvieron 10 cortes típicos de 20 µm de grosor con un micrótomo de deslizamiento, se depositaron en frascos con agua destilada, se tiñeron con Pardo de Bismarck al 1% por 24 horas y se lavaron con agua destilada para eliminar el exceso del colorante. Al final, se elaboraron 55 preparaciones permanentes (5 por cubo), para lo que se colocaron los cortes en alcohol etílico al 98 % durante tres minutos y posteriormente al 100 % por el mismo tiempo con el fin de deshidratarlos, inmediatamente después se sumergieron en xilol de uno a dos minutos y se fijaron con Resina Entellan (Navarro-Martínez *et al.*, 2005). Con la ayuda de una cámara Moticam modelo 1000 y el paquete Motic versión 1.3 (2003) se tomaron cuatro campos de cada preparación (220) y con el paquete Image Tool versión 3.0 (Wilcox *et al.*, 2002) se midieron la altura, diámetro y número de los rayos en el corte tangencial así como los diámetros radial, tangencial y número de vasos. Las características microscópicas observadas se clasificaron de acuerdo a Chattaway (1932) e IAWA (1939, 1989), Tortorelli (1956), Jane (1970) y Terrazas (1984).

De los cubos utilizados para conocer la densidad, se seleccionó uno de cada zona de la rodaja por árbol (12 en total) y se obtuvieron cuatro virutas de aproximadamente 1 cm x 1 mm x 1 mm (48 en total), las cuales se depositaron en frascos con una solución de peróxido de hidrógeno y ácido acético glacial en partes iguales y se colocaron en una estufa a 60°C durante 24 horas, con la finalidad de obtener material disociado, el cual posteriormente se lavó con agua destilada hasta eliminar el olor de la solución previa, se agitó y tiñó con Pardo de Bismarck al 1 %

---

<sup>1</sup> Equipo diseñado por el M.C. Mario Fuentes Salinas, para el laboratorio de Anatomía y Tecnología de la madera de la Universidad Autónoma Chapingo.



por 24 horas (Navarro-Martínez *et al.*, 2005). Se hicieron preparaciones temporales y con ayuda de una cámara Moticam modelo 1000 y el paquete Motic versión 1.3 (2003) se tomaron fotografías y con el paquete Image Tool versión 3.0 (Wilcox *et al.*, 2002) se midió la longitud de la fibra, diámetro de lumen y grosor de la pared celular, longitud del vaso y diámetro de las punteaduras en un total de 516 fibras y 240 vasos con base en el tamaño de muestra calculado para cada estructura celular (para fibras 43 y para vasos 20 x 4 árboles x 3 zonas). Con los resultados obtenidos se obtuvieron los valores máximo, mínimo, media, desviación estándar y coeficiente de variación.

#### **4.5.4 Propiedades físicas**

##### **4.5.4.1 Densidad**

Se determinó de acuerdo a la NMX-EE-117-1981, en 142 probetas de 2 x 2 x 2 cm provenientes de la médula (24), parte media (47) y cercana a la corteza (61). De cada probeta se registraron el peso y volumen ( $V_V$ ) en estado verde, posteriormente, se llevaron a peso constante (estado anhidro) en una estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  y se registraron de nuevo el peso ( $P_O$ ) y volumen ( $V_O$ ) para obtener las densidades básica ( $D_b$ ) y anhidra ( $D_O$ ), con las siguientes fórmulas:

$$D_b = P_O/V_V$$

$$D_O = P_O/V_O$$

La densidad básica y anhidra se clasificó de acuerdo a la recomendación de Vignote y Jiménez (1996).

##### **4.5.4.2 Contenido de humedad**

Se obtuvieron 141 probetas de 2 x 2 x 2 cm, a las que se les determinó el peso ( $P_V$ ) y volumen ( $V_V$ ) en estado verde, posteriormente, se llevaron a peso constante (estado anhidro) en una estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  y nuevamente se les midió el peso ( $P_O$ ) y volumen ( $V_O$ ) para obtener el contenido porcentual de humedad (% CH) (Navarro-Martínez *et al.*, 2005) con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ CH} = (P_V - P_O) / P_O \times 100$$

La clasificación de esta variable se realizó de acuerdo a Díaz (1960).

#### 4.5.4.3 Contracción

En 119 probetas de 3 x 2 x 2 cm se obtuvo el peso ( $P_V$ ) y volumen ( $V_V$ ) en estado verde para la contracción volumétrica total ( $\% \beta_{Vt}$ ) y para la contracción lineal en los planos tangencial ( $\% \beta_T$ ), axial ( $\% \beta_A$ ) y radial ( $\% \beta_R$ ) se midieron la longitud tangencial ( $T_V$ ), axial ( $A_V$ ) y radial ( $R_V$ ) en estado verde con un vernier digital. Posteriormente se llevaron a peso constante (estado anhidro) en una estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  y se registraron de nuevo el peso ( $P_O$ ), volumen ( $V_O$ ), la longitud tangencial ( $T_O$ ), axial ( $A_O$ ) y radial ( $R_O$ ) (Navarro-Martínez *et al.*, 2005) y con las siguientes fórmulas se calcularon las contracciones:

$$\% \beta_{Vt} = V_V - V_O / V_V \times 100$$

$$\% \beta_T = T_V - T_O / T_V \times 100$$

$$\% \beta_A = A_V - A_O / A_V \times 100$$

$$\% \beta_R = R_V - R_O / R_V \times 100$$

La contracción volumétrica total se clasificó de acuerdo a Echenique *et al.* (1975) y la tangencial y radial a Negrete *et al.* (1970).

El punto de saturación de la fibra (PSF) y coeficiente de contracción volumétrica total ( $V$ ) se calculó con las siguientes fórmulas (Fuentes-Salinas, 1998):

$$\text{PSF} = \% \beta_{Vt} / (\text{Db} \times 0.9)$$

$$V = \% \beta_{Vt} / \text{PSF}$$

El PSF se clasificó de acuerdo a las recomendaciones de Novelo (1964) y el  $V$  a Fuentes-Salinas (1998).

La relación de anisotropía ( $A$ ) se calculó con la fórmula:  $A = \% \beta_T / \% \beta_R$  y se clasificó de acuerdo a Ordoñez *et al.* (1990).

## 4.6 Resultados

### 4.6.1 Descripción macroscópica

La madera tiene un olor perceptible, sabor astringente, parénquima aliforme, porosidad difusa y no se observa una transición clara entre madera temprana y tardía (Figura 1a). El duramen es de color café oscuro amarillento (HUE 10YR 3/6) y la albura castaño muy pálido (HUE 10YR 7/3), con vetado pronunciado, brillo medio (Figura 1b) hilo entrecruzado y textura media (Figura 1c).



Figura 1. Color, vetado de hilo y textura en cortes típicos de *Caesalpinia gaumeri* Greenm: a) transversal; b) tangencial y c) radial.

#### 4.6.2 Descripción microscópica

En el corte transversal se observa porosidad difusa, con poros en su mayoría solitarios (PS) y en algunos casos múltiples (2-4) en sentido radial, con gomas (PG) y existe 5 por mm<sup>2</sup>; se distinguen líneas de parénquima (LP) en bandas finas (de una célula), así como parénquima paratraqueal aliforme (A) (Figuras 2a y b; Cuadro 2).

En el plano radial, los vasos presentan una placa de perforación simple (PPS) (Figura 2c) y los rayos son homocelulares con células procumbentes (RP) (Figura 2c y d). En el plano tangencial, el parénquima es fusiforme (PF) (Figura 2e). Los rayos son uniseriados (RU) y biseriados (RB) (Figuras 2e y f), en promedio tienen una altura de 116.5 µm, un diámetro de 13.3 µm y 21 rayos por mm<sup>2</sup> (Cuadro 2).

Las fibras tienen en promedio 1048.8 µm de longitud, 5.1 µm de diámetro de lumen, 16.5 µm de diámetro total y 11.4 µm de grosor de la pared celular (Cuadro 2, Figura 3a y b).

Los elementos de vaso miden en promedio 218.2 µm de longitud, con un diámetro radial de 83.3 y tangencial de 66 µm (Cuadro 2). En algunos casos presentan ápice (A) (Figura 4a, b, c). Las punteaduras en la pared de los elementos vasculares (perforaciones que permiten el flujo del agua durante el proceso de conducción) son alternas (Figura 4d, e y f) y tienen en promedio un diámetro de 4.8 µm (Cuadro 2).

Contenidos celulares: las gomas están presentes en los elementos de vaso (PG) (Figura 2b) y en parénquima radial (GP) (Figura 2d) y cristales de tipo romboidal (CR) en el parénquima axial (Figura 4f).

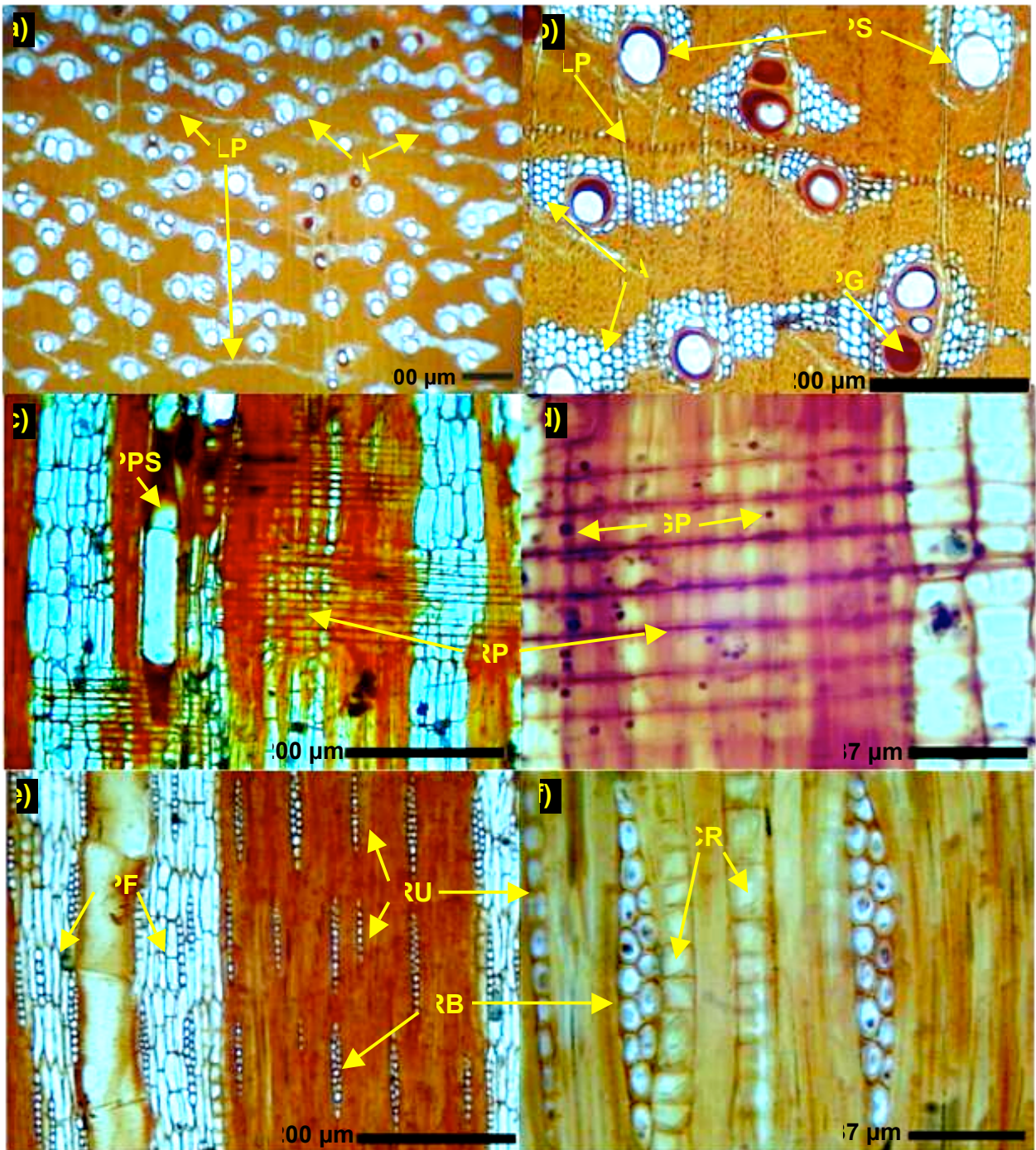


Figura 2. Cortes transversal (a = 2.5 X; b = 10 X), radial (c = 10 X; d = 40 X) y tangencial (e = 10 X; f = 40 X) en *Caesalpinia gaumeri* Greenm.



Cuadro 2. Características microscópicas de *Caesalpinia gaumeri* Greenm.

Variable	N	Media µm	Coficiente de variación	Desviación estándar	Máxima µm	Mínima µm	Clasificación
<b>Fibra</b> 516							
Longitud		1048.77	10.85	113.75	1387.67	566.86	Mediana <sup>1</sup>
Diámetro de lumen		5.08	55.85	2.84	18.26	1.08	Mediano <sup>2</sup>
Diámetro total		16.46	16.75	2.76	29.20	7.84	Fino <sup>1</sup>
Grosor de pared celular		11.39	23.30	2.65	19.85	4.22	Extremadamente gruesa <sup>2</sup>
<b>Vasos</b>							
Longitud	240	218.23	14.06	30.69	330.94	94.86	Extremadamente cortos <sup>2</sup>
Diámetro radial (poros)	1309	83.27	23.41	19.49	128.38	20.32	Muy pequeño <sup>3</sup>
Diámetro tangencial (poros)	1309	65.96	19.18	12.65	101.10	23.55	Muy pequeño <sup>3</sup>
Poros por mm <sup>2</sup>	220*	10	0.29	2.82	18	6	Moderadamente pocos <sup>2</sup>
Diámetro de punteaduras	240	4.8	0.18	0.87	5.8	3.8	Pequeño <sup>4</sup>
<b>Rayos</b> 3342							
Altura		116.49	17.47	20.35	191.43	36.43	Extremadamente bajos <sup>5</sup>
Diámetro		13.25	32.84	4.35	35.29	5.35	Extremadamente finos <sup>6</sup>
Rayos por mm <sup>2</sup>	88*	42	0.18	7.62	62	28	Extremadamente abundantes <sup>2</sup>

N=Número de estructuras medidas; \* = número de imágenes medidos; <sup>1</sup>Tortorelli (1956); <sup>2</sup>Terrazas (1984); <sup>3</sup>Jane (1970); <sup>4</sup>IAWA (1989); <sup>5</sup>Chattaway (1932); <sup>6</sup>IAWA (1939).



Figura 3. Fibras en *Caesalpinia gaumeri* Greenm. a) lumen y pared (40 X), b) longitud (2.5 X).

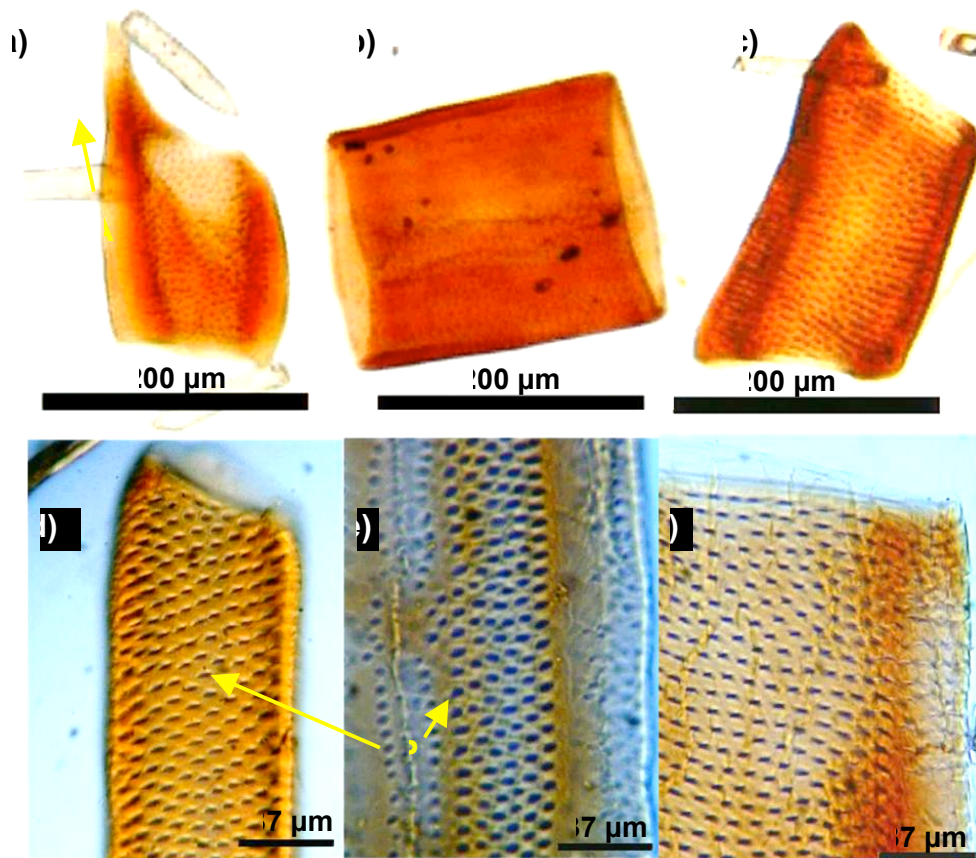


Figura 4. Elementos de vasos en *Caesalpinia gaumeri*. a, b y c), ápice y longitud (10 X); d, e y f) punteaduras simples alternas (40 X).

### 4.6.3 Propiedades físicas

La densidad anhidra fue  $0.96 \text{ g.cm}^{-3}$  y la densidad básica de  $0.86 \text{ g.cm}^{-3}$ . El contenido de humedad total 52.04 %. La contracción volumétrica total es de 11.9 %, en el plano tangencial es de 9.27 %, en el axial 0.33 %, en el radial de 4.65 % con un coeficiente de contracción volumétrica total de 0.78 %. Relación de anisotropía fue 1.99 El punto de saturación estimado de la fibra fue 16.49 %.

### 4.7 Discusión

Las fibras de la madera de *Caesalpinia gaumeri* encontradas en la presente investigación, por su longitud son medianas (900-1,600  $\mu\text{m}$ ) con diámetro total fino ( $<25 \mu\text{m}$ ) (Tortorelli, 1956), diámetro de lumen mediano (5-10  $\mu\text{m}$ ) y paredes extremadamente gruesas ( $>7 \mu\text{m}$ ) (Terrazas, 1984). Los poros por su abundancia son moderadamente pocos (6-16 por  $\text{mm}^2$ ) y los elementos de vaso por su longitud, se clasifican como extremadamente cortos ( $<300 \mu\text{m}$ ) (Terrazas, 1984) con diámetros radial y tangencial muy pequeños ( $<100 \mu\text{m}$ ) y las punteaduras por su diámetro, se clasifican como pequeñas (4-7  $\mu\text{m}$ ) IAWA (1989). Los rayos por su altura se clasifican como extremadamente bajos ( $<500 \mu\text{m}$ ) (Chattaway, 1932), por su diámetro como extremadamente finos ( $<15 \mu\text{m}$ ) (IAWA, 1939) y por su abundancia como extremadamente abundantes ( $>9$  por  $\text{mm}^2$ ) (Terrazas, 1984) (Cuadro 2).

Con respecto a las propiedades físicas *Caesalpinia gaumeri* se clasifica como muy pesada por su densidad anhidra ( $>0.95 \text{ g cm}^{-3}$ ) y pesada por su densidad básica ( $0.75\text{-}0.95 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Vignote y Jiménez, 1996), por su contenido porcentual de humedad se clasifica como verde ( $>\text{PSF}$ ) (Díaz, 1960), por su contracción volumétrica total como media (10-15 %) (Echenique, 1975), tangencial y radial como mediana (8-11 %) (Negrete *et al.*, 1970), por su coeficiente de contracción volumétrica total como muy alto ( $>0.63 \%$ ) (Fuentes-Salinas, 1998) relación de anisotropía como estable (1.5-2.0) (Ordoñez *et al.*, 1990) y por su punto de saturación de la fibra como bajo ( $<25 \%$ ) (Novelo, 1964).



Las características macroscópicas observadas tales como diferencia de color entre albura y duramen, porosidad difusa, parénquima aliforme, vetado pronunciado, brillo medio, hilo entrecruzado y textura media son semejantes a las encontradas en un estudio realizado para esta misma especie en una selva mediana caducifolia del estado de Quintana Roo (Rebollar *et al.*, 1996-1997). No obstante, el olor, sabor y color del duramen fueron distintos.

En un estudio realizado para comparar las características macroscópicas de la madera de las especies que crecen en selva perennifolia y caducifolia se encontró que en la selva perennifolia los colores de la madera son más pálidos, no hay transición entre duramen y albura y la dureza va de mediana a baja. En la selva caducifolia, el duramen de la madera es muy oscuro (negruzco, verdoso o rojizo), dureza alta, transición abrupta entre duramen y albura (Barajas-Morales, 1985), lo cual coincide con lo encontrado para *Caesalpinia gaumeri* en Quintana Roo y Yucatán respectivamente.

Las características microscópicas coinciden con el trabajo de Rebollar *et al.* (1996-1997) en que los poros son principalmente solitarios y en algunas ocasiones múltiples radiales, moderadamente pocos, difusos, de perforación simple, con gomas y con diámetro tangencial muy pequeño, punteaduras en la pared de los elementos vasculares alternas y extremadamente cortos; parénquima paratraqueal aliforme; fibras de longitud mediana y diámetro total fino; rayos uniseriados y biseriados, extremadamente bajos y extremadamente abundantes; no obstante, en los individuos evaluados en Yucatán, contrastan en el pared de las fibras que son extremadamente gruesas y rayos extremadamente finos, algunos elementos de vasos presentan ápice; mientras que para los individuos de Quintana Roo, las fibras son muy gruesas y rayos moderadamente finos y elementos de vaso sin ápice.

Midgley (2003), menciona que el transporte hidráulico en menos espacio (pequeñas unidades de superficie), favorece la resistencia hidrodinámica restándole importancia a la gravitación y a la cavitación, lo que representa una ventaja para

mantener constante el ascenso del agua. Tal ventaja parece ser producto de la evolución, de acuerdo a la anatomía de la madera de *Caesalpinia gaumeri* y con los caracteres mostrados en el Cuadro 2. Sperry *et al.* (1994) mencionan que la posesión de vasos grandes ejerce mayor eficiencia de conducción a cambio de menor embolismo. Esto explica la evolución de la fenología de caducifolias, donde se genera tolerancia al embolismo mediante la presencia de un gran número de poros por unidad de superficie.

Barajas-Morales (1985), encontró que las especies de selva caducifolia, tienen los elementos vasculares más cortos y estrechos, fibras más cortas, rayos de menor altura y pared del vaso más gruesa en comparación con las especies de selva perennifolia, lo cual coincide con lo encontrado en la presente investigación.

Estas diferencias, se reitera, pueden estar relacionadas con las condiciones ecológicas de crecimiento propias de los lugares de estudio, que para el caso de Yucatán son: selva baja caducifolia, con una precipitación anual de 1,200 mm y una temperatura media anual de 21.1°C (García, 2004), suelos someros luvisoles (k'ankab; plano, de color rojo) y leptosoles (tze'el, bo'ox lu'um; con afloramiento rocoso) (García *et al.*, 2005). Para Quintana Roo son: selva media subperennifolia, con una precipitación de 1,290 mm al año y una temperatura promedio de 26 °C (García, 2004), con suelos leptosoles (Tze'el), luvisoles (k'ankab) y Gleysoles (Ak'alché) Wright, 1967; SEGOB, 1987). Este último se caracteriza por retener mayor humedad y no se encuentra en la zona de estudio (Yucatán), por lo que podría ser un factor determinante en la disponibilidad de humedad para el desarrollo de esta especie, de tal manera que sus estructuras celulares anatómicas tienden a ser de menores dimensiones en comparación con las de los árboles que crecen en el estado de Quintana Roo.

La conducción de agua y los cambios en la disponibilidad de humedad reflejados en la estructura anatómica de la madera (Wheeler y Baas, 1991), muestran que la eficiencia y seguridad en la conducción están altamente relacionadas con el diámetro de los poros y la frecuencia de los vasos (Sidiyasa y

Baas, 1998; León y Espinoza, 2001). Los vasos estrechos son desventajosos en hábitats secos mientras que los vasos anchos permiten mayores tasas de flujo de agua, aunque son más vulnerables a la cavitación por sequía, por lo que su presencia podría representar una desventaja para las plantas que crecen en ambientes con frecuente déficit hídrico (Pimienta *et al.*, 2003). A la vez, se ha observado que especies con mayor transpiración (mayor humedad en el suelo o en el ambiente), poseen menor frecuencia de poros pero tienen mayores diámetros, mientras que, en especies con menor transpiración (sometidos a estrés hídrico) el diámetro tiende a reducirse (León y Espinoza, 2001), al igual que la longitud de los elementos vasculares, cualidades que junto con la presencia de paredes gruesas, constituyen el beneficio anatómico que permite asegurar el desarrollo de mayores presiones negativas, como medida preventiva al posible embolismo y al cese del funcionamiento del vaso (Barajas-Morales, 1985; Wilkins y Papassotiropoulos, 1989), lo que puede ocurrir en *Caesalpinia gaumeri* dado que coincide con estas características.

Desde el punto de vista tecnológico, mediante el conocimiento de la estructura anatómica de la madera es posible hacer inferencias sobre las propiedades físico-mecánicas, técnicas de procesamiento y utilización (León y Espinoza, 2001). De este modo, las maderas que tienen el hilo entrecruzado, característica que puede conferir resistencia mecánica al tejido como en la madera de *Ehretia tinifolia*, de acuerdo con Rebollar y Quintanar (2000), también pueden ser susceptibles de presentar arqueaduras y torceduras durante el secado (Kollmann y Coté, 1968) y presentar problemas para el taladrado y lijado, presentándose superficies de grano arrancado (Ninin, 1985). Tecnológicamente, debe considerarse que el hilo entrecruzado, por las propiedades de resistencia mecánica, permite que la madera mantenga la estabilidad del tronco en términos funcionales y de acuerdo con Rebollar y Quintanar (2000), sea adecuada para usos como pisos, construcción pesada, de yates y decoración; lo ideal sería que el hilo fuera recto para ofrecer resistencia al impacto. Las maderas que presentan parénquima en bandas, aliforme como es el caso de *Caesalpinia gaumeri*, y aliforme confluyente, tienen mayor incidencia de grano arrancado al

momento del cepillado o canteado (Lluncor, 1977), detalle que reduce su calidad para carpintería. Las maderas de altas densidades (pesadas), tienen fibras con paredes gruesas a muy gruesas, rayos finos y poco parénquima por lo que presentan mayor resistencia al corte y se requieren herramientas de aserrado con dientes más fuertes o robustos (Ninin, 1985); no obstante, son de alta durabilidad natural, ya que cuentan con menos espacios vacíos, lo que minimiza el acceso del agua, también tienen extractivos que son tóxicos a los hongos que causan la pudrición (JUNAC, 1988). La presencia de la goma en el tejido de *Caesalpinia gaumeri* robustece las cualidades de dureza y durabilidad de la madera, que la hace resistente al deterioro, de acuerdo con Rebollar y Quintanar (2000), además de contar con la presencia de rayos extremadamente finos, que influyen en las contracciones que sufre la madera y permiten entender el por qué este tipo de madera se utiliza para durmientes; además, las paredes extremadamente gruesas de las fibras le confieren el peso y la dureza necesarias para varios usos en construcción pesada. Como puede destacarse, todos estos detalles anatómicos de la madera, explican el porqué los usuarios regionales, los Mayas, hayan apreciado al kitimché para basar la construcción de sus casas con material maderable precisamente de esa especie.

Los rayos uniseriados como los observados en *Caesalpinia gaumeri*, numerosos, extremadamente bajos y finos, favorecen la resistencia al impacto y a la estabilidad dimensional, por lo que Rebollar y Quintanar (2000) sugieren que madera con esas cualidades, sea usada para la elaboración de durmientes, para pisos, parquet, adoquín, lambrín, para manufactura de muebles, puertas, marcos para ventanas y decoración, artículos torneados y decoración de interiores.

De manera general, las maderas susceptibles de ser aprovechadas en la carpintería, deben de ser de color atractivo, rayos finos a medianos, grano recto, que presente anillos de crecimiento, de buenas características de cepillado, lijado, torneado y taladrado. Las maderas de densidad y durabilidad altas, son recomendables para ser utilizadas como durmientes, postes de cercas y para piso (León y Espinoza, 2001).

Por lo antes mencionado, en el caso de la madera de *Caesalpinia gaumeri*, se deben utilizar herramientas de corte más fuertes y el proceso de secado debe ser muy lento para evitar deformaciones. Esta especie no reúne las características deseables de la madera para carpintería, pero se puede utilizar por su resistencia, dureza y durabilidad ante agentes de deterioro, en la construcción de viviendas rurales, la elaboración de durmientes, postes, duelas y artesanías.

#### **4.8 Conclusiones**

Las características de la madera de *Caesalpinia gaumeri* o kitimché, tales como el olor, sabor y color del duramen, grosor de los rayos, diámetro del lumen en las fibras, diámetro tangencial de los elementos de vaso, corresponden con las cualidades diagnósticas y anatómicas de árboles desarrollados en ambientes de baja disponibilidad de agua, como el típico de la selva baja caducifolia de la región Yucatanense.

La madera de Kitimché, por sus características anatómicas y propiedades físicas, principalmente resistencia, dureza y durabilidad a la intemperie y situaciones de deterioro, ha sido bien aplicada por los habitantes Mayas, para la construcción de viviendas rurales y se puede utilizar en la elaboración de durmientes, postes, duelas y artesanías. Sin embargo, su uso para carpintería y trabajos finos está limitado por defectos como el grano entrecruzado y presencia de cristales de tipo romboidal.

#### 4.9 Literatura citada

- Barajas-Morales, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. IAWA Bulletin n.s. 6: 355-364.
- Borja, de la R. A. y J. C. Tamarit U. 1997. Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. del estado de Durango, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 3(1): 103-107.
- Cob, U. J. V., D. Granados-Sánchez, L. M. Arias-Reyes, J. G. Álvarez-Moctezuma y G. F. López-Ríos. 2003. Recursos forestales y etnobotánica en la región milpera de Yucatán, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(1): 11-16.
- Chattaway, M. 1932. Proposed standars for numerical values used in describing Woods. Tropical Woods 29: 20-28.
- Díaz, G. V. 1960. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Unidad y Enseñanza e Investigación en Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. 119 p.
- Echenique, R., J. Barajas, L. Pinzón y V. Pérez. 1975. Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Versión 1. Características tecnológicas de la madera de 10 especies. INIREB. 66 p.
- Fuentes-Salinas, M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas de importancia en la construcción. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 4(1): 221-229.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. UNAM-Instituto de Geografía. Serie Libros, Núm. 6, Quinta edición. México. 91 p.
- García, J., A. Mizrahi y F. Butista. 2005. Manejo campesino de la selva baja y selección de especies arbóreas para barbechos mejorados en Hocabá, Yucatán. *In*: Bautista, F. y G. Palacio. Eds. Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. pp. 195-208.

- Hallé, F., R. A. A. Oldeman y P. B. Tomlinson. 1978. Tropical trees and forests, an architectural analysis. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, New York. 441 pp.
- Harold, W. y Jr. Hocker. 1984. Introducción a la biología forestal. Primera edición en español. ACT Editor S.A. México. 446 pp.
- IAWA (International Association of Wood Anatomists) Committee. 1939. Standard terms of size for vessel diameter and ray width. *Tropical Woods* 59: 51-52.
- IAWA (International Association of Wood Anatomists) Committee. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* n.s. 10: 219-332.
- Jane, F. W. 1970. The structure of wood. Segunda edición. Adam and Charles Black. London. 478 p.
- JUNAC. 1988. Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú. 430 p.
- King, D. A. 1987. Load bearing capacity of understory treelets of a tropical wet forest. *Bull. Torr. Bot. Club* 114 (4): 419-428.
- Kollmann, F. y W. Coté. 1968. Principles of Wood Science Technology I Solid Wood. Springer-Verlag. New York. pp. 183-189.
- León, H. W. y N. Espinoza de Pernía. 2001. Anatomía de la madera. Primera edición. Universidad de los Andes, Consejo de Publicaciones y Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida, Venezuela. 397 p.
- Levy, T. S. y E. Hernández X. 1994. Aprovechamiento forestal tradicional de los hubches en Yucatán. *In: Hernández X., E., E. Bello y S. Levy T (Comps.) La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional.* Colegio de Postgraduados, México. Tomo I. pp. 247-270.
- Lluncor, D. 1977. Relaciones entre las características de cepillado de algunas maderas de Venezuela y sus propiedades físico-mecánicas y anatómicas. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Mérida, Venezuela. 90 p.
- Midgley, J. J. 2003. Is bigger better in plants? The hydraulic costs of increasing size in trees. *Trends in Ecology & Systematics* 18 (1): 5-6.

- Motic Images Version 1.3 Software. 2003. Cámara Moticam modelo 1000. National Optical and Scientific Instruments, Inc.
- Munsell Color Company. 1975. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. 17 p.
- Navarro-Martínez, J., A. Borja-de la Rosa y R. Machuca-Velasco. 2005. Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(1): 73-82.
- Negrete, L. J. 1970. Algunas características físicas y anatómicas de la madera de cuatro especies de encino (*Quercus*) del estado de Michoacán. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, Texcoco, México. 65 p.
- Niklas, K. J. 1986. Evolution of plant shape: design constraints: Trends in Ecology & Evolution 1 (3): 67-72.
- Ninin, L. 1985. Manual de aserrado y afilado. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de publicaciones. Mérida, Venezuela.
- NMX-EE-117-1981. Envase y embalaje.- Determinación del peso específico aparente en maderas. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. 8 p.
- Novelo, G. G. 1964. Aplicaciones de la madera de cuatro especies tropicales con base a sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, Texcoco, México.
- Ordoñez, V., G. Bárcenas y A. Quiroz. 1990. Características físico-mecánicas de la madera de 10 especies de San Pablo Macuatianguis, Oaxaca. Boletín Técnico no. 21 (LACITEMA). Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz. 29 p.
- Rallo, M., D. Montecinos y T. Mundac. 2008. Perforaciones escaleriformes en vasos de árboles nativos de Chile. Maderas, Ciencia y Tecnología [online].10(2):163-172. [http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v10n2/art\\_08.pdf](http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v10n2/art_08.pdf)
- Rebollar, D. S., Pérez-Olvera C. y Quintanar I. A. 1996-1997. Anatomía de la madera de ocho especies de la selva mediana subperennifolia de Quintana Roo, México. Revista de Biología Tropical 44(3)/45(1): 67-77.



- Rebollar, S. y A. Quintanar. 2000. Anatomía y usos de la madera de siete árboles tropicales de México. *Revista de Biología Tropical* [online]. 4 (2-3): p.569-578 [citado 05 Julio 2009]  
[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442000000200028&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000200028&lng=es&nrm=iso)
- Robert, E. M. R., N. Koedman, H. Beeckman and N. Schmitz. 2009. A sage hydraulic architecture as wood anatomical explanation for the difference in distribution of the mangroves *Avicennia* and *Rhizophora*. *Functional Ecology* 23(4): 649-657.
- SEGOB. 1987. Los Municipios de Quintana Roo. Secretaría de Gobernación/Gobierno de Quintana Roo. p: 23-28.
- Sidiyasa, K. y P. Baas. 1998. Ecological and systematic Wood anatomy of *Alstonia* (Apocynaceae). *IAWA Bulletin* n.s. 19: 207-229.
- Sperry, J. S. K. L. Nichols, J. E.M. Sullivan Y S. E. Eastlack . 1994. Xylem embolism in ring-porous, diffuse-porous, and coniferous trees of northern Utah and interior Alaska. *Ecology* 75 (6): 1736-1752.
- Terrazas, S. T. 1984. Proposición para clasificar el tamaño de algunas estructuras de madera de angiospermas mexicanas. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 73 p.
- Toledo, V. M., Barrera-Bassols N., García-Frapolli E. y Alarcón-Chaires P. 2008. Uso múltiple y biodiversidad entre los Mayas Yucatecos (México). *Interciencia* 33(5): 345-352.
- Tomlinson, P.B. 1983. Tree architecture. *American Scientist* 71:141-149.
- Tortorelli, L. A. 1956. Madera y Bosques Argentinos. ACME. Buenos Aires. 910 p.
- Vignote, S. Y F. Jiménez. 1996. Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 606 p.
- Wheeler, E. y P. Baas. 1992. A survey of the fossil record for Dicotyledonous Wood and its significance for evolutionary and ecological Wood anatomy. *AIWA Bulletin* n.s. 12: 275-332.

- Wilcox, D., Dove B., McDavid D. y Greer D. 2002. Image Tool for windows Version 3.0. The University of Texas Health Science Center in San Antonio. San Antonio, Texas. USA. 55 p.
- Wilkins, A. y S. Papassotiriou. 1989. Wood anatomical variation of *Acacia melanoxylon* in relation to latitude. *IAWA Bulletin* n.s. 10: 201-207.
- Wright, A. C. S. 1967. El reconocimiento de los suelos de la Península de Yucatán, México. Informe final a la FAO. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 43 p.
- Zimmermann, M.H. 1978. Structural requirements for optimal water conduction in tree stems. En: Tomlinson, P. B., y M.H. Zimmermann (eds.). *Tropical trees as living systems*. Cambridge University Press. Cambridge, England. pp. 517-531.

## V. DISCUSIÓN GENERAL

Dentro de los factores que afectan la tasa de crecimiento de los árboles se encuentran la densidad, edad, vitalidad, cambios en los regímenes luminosos, espacio para crecer, disponibilidad de agua, temperatura, plagas y enfermedades (Veillon, 1985). En *Caesalpinia gaumeri*, la tasa anual de crecimiento observada en esta investigación, es mayor (0.67 cm) a lo reportado por Uslar *et al.* (2003) para *Caesalpinia pluviosa* (0.30 cm) en individuos (60 %) de categorías diamétricas menores a 10 cm, suprimidos o codominantes con bejucos en la copa y en el fuste y menor que lo reportado para *Lysiloma latisiliquum* (1.1 cm) por García y Rodríguez, (1993) en individuos dominantes y codominantes en categorías de diámetro mayores, cabe señalar que es una especie catalogada como de rápido crecimiento. Esta comparación, pone de manifiesto la importancia de la ubicación de los árboles en el estrato vertical del dosel y la competencia con otras especies.

Las diferencias significativas del crecimiento en diámetro encontradas para *Caesalpinia gaumeri*, entre categorías diamétricas, calidades de copa e incidencias de luz en la copa, así como entre las estaciones seca y lluviosa del año; también se han observado en otras especies tropicales y algunos autores indican que pueden estar relacionadas con la variación intra e interespecífica, edad de los árboles y condiciones ambientales (Silva *et al.*, 1995; Pereira *et al.*, 2002; López-Torres y Tamarit-Urias, 2005; Hernández y Castellanos, 2006; López-Ayala *et al.*, 2006).

De manera específica, el crecimiento en diámetro de los árboles clasificados en diferentes categorías diamétricas, posiciones de copa e incidencia de luz sobre la copa, algunos autores coinciden en que los ubicados en categorías superiores crecen más que los situados en las inferiores porque se encuentran suprimidos o dominados por árboles vecinos mientras que las clases superiores tienen copas más desarrolladas, ocupan mejores posiciones en el dosel y en algunos casos son dominantes (Veillon, 1985; Swaine *et al.*, 1987; Louman *et al.*, 2001; Hernández y Castellanos, 2006).

En etapas tempranas de crecimiento, se observa que los árboles con una necesidad importante en cantidad y calidad de luz solar tratan de alcanzar el dosel superior lo que limita el crecimiento en diámetro y la anchura de la copa (Harold y Hocker, 1984). En la presente investigación, los resultados observados para *Caesalpinia gaumeri* confirman este comportamiento, ya que el crecimiento en diámetro de los árboles en categorías superiores, los que cuentan con mejor calidad de copa y los de incidencia de luz total crecieron más en comparación con los de categorías inferiores, los de menor calidad de copa y los de incidencia de luz parcial. La descripción arquitectónica y el análisis de las variables dasométricas sugieren que los individuos clasificados como brinzales y latizales tienen copas más angostas, lo que posibilita el crecimiento rápido en altura para alcanzar el dosel superior y, una vez que lo logran (fustales), expanden la copa con el consecuente aumento en el crecimiento en diámetro.

Punches (2004) señala que el manejo silvícola incrementa el tamaño y el vigor de la copa y por ende la tasa de crecimiento en diámetro. En un trabajo realizado en Colombia, se encontró que el raleo de los bosques de *Camposperma panamensis* Standl. incrementó de dos a tres veces el crecimiento en diámetro en comparación con un área sin manejo (Del Valle, 1998). En este sentido, se identificó la necesidad de implementar prácticas adecuadas de manejo silvícola para obtener mayor volumen de madera de *Caesalpinia gaumeri* por superficie y de mejor calidad, tales como podas de ramas de primer orden en etapa latizal para mejorar el fuste y ramas dañadas o suprimidas en la etapa fustal para mejorar la copa.

Se ha observado que las especies tropicales son sensibles a la variación de elementos climáticos tales como precipitación, temperatura y épocas de sequía de tal manera que afectan el crecimiento en diámetro (Tome y Burkhart, 1989; Fichtler *et al.*, 2004), comportamiento que coincide con lo encontrado en el presente estudio para *Caesalpinia gaumeri* y en otros trabajos realizados en selvas caducifolias de México, para *Enterolobium cyclocarpum* y *Cordia elaeagnoides* (Makocki y Valdez-Hernández, 2001; López-Ayala *et al.*, 2006). Algunos autores señalan que la falta de

humedad durante la estación seca limita el crecimiento de los árboles, porque se afecta la mineralización del nitrógeno en el suelo, elemento esencial para su sobrevivencia, además de que la baja disponibilidad de agua en este y la elevada transpiración de la planta, ocasionan un déficit hídrico en el tallo con la consecuente pérdida de turgencia en las células del cambium vascular y parénquima del floema y xilema (Reich y Borchert, 1984; Wright, 1991; Reich, 1995; Baker *et al.*, 2002).

Barajas-Morales (1985), encontró que las especies de selva caducifolia, tienen los elementos vasculares más cortos y estrechos, fibras más cortas, rayos de menor altura, mayor abundancia de poros y pared del vaso más gruesa en comparación con las especies de selva perennifolia, lo cual coincide con lo encontrado en la presente investigación. De manera particular, la estación seca de aproximadamente seis meses del área de estudio limita el crecimiento en diámetro y posiblemente afecta las estructuras celulares de *Caesalpinia gaumeri*, tales como poros solitarios, moderadamente pocos, difusos, de perforación simple, de diámetro tangencial muy pequeño, elementos vasculares extremadamente cortos con punteaduras alternas, fibras de longitud mediana y diámetro total fino con paredes extremadamente gruesas, rayos uniseriados y biseriados, extremadamente bajos, abundantes y finos, que de acuerdo a Midgley (2003), le confieren resistencia hidrodinámica a la gravitación y cavitación y representa una ventaja para mantener constante el ascenso del agua, misma que parece ser producto de la evolución en esta especie como respuesta a la adaptación al ambiente donde se desarrolla.

Respecto a la presencia de *Pachycondyla villosa* en el tronco de *Caesalpinia gaumeri*, desde la etapa de latizal, puede deberse a una simbiosis como defensa contra la herbivoría, lo que ha sido reportado para *Leonardoxa africana* (Caesalpiniceae) en Camerún con otra hormiga del mismo género, característico por su agresividad (Mckey, 1984; Madden y Young, 1992; Schulz y Wagner, 2002).

Debido a la densidad pesada y la presencia de cristales de tipo romboidal en la madera de *Caesalpinia gaumeri*, es necesario utilizar herramientas de corte más

fuerres en los procesos de transformación y de secado, el cual debe ser muy lento para evitar deformaciones. No obstante, esta especie no reúne las características deseables de la madera para carpintería, pero se puede utilizar por su resistencia, dureza y durabilidad ante agentes de deterioro, en la construcción de viviendas rurales, la elaboración de durmientes, postes, duelas y artesanías. Es importante destacar que los Mayas, basados en la observación de la dureza y resistencia a la pudrición natural principalmente, hasta la fecha han aprovechado esta especie para la construcción de sus casas.

Los resultados de la descripción arquitectónica y análisis dasométrico de *Gymnopodium floribundum*, indican que esta especie se expresa morfológicamente de acuerdo con Hallé *et al.* (1978) conforme al modelo Champagnat el cual se caracteriza por la superposición de ejes mixtos ortótropos. Los próximos forman un tronco simpódico y los distales se vuelven péndulos y forman las ramas, lo que coincide con lo reportado por Vester (2002). Como especie característica del estrato bajo a medio, los brinzales tienen copas más abiertas para aprovechar mejor la escasa cantidad de luz que reciben en el sotobosque (Hallé *et al.*, 1978, Poorter *et al.*, 2006), mientras que los latizales y fustales que se encuentran en el estrato medio tienden a cerrar su copa como respuesta a la competencia por espacio, que tiende a ser mayor entre adultos que entre jóvenes.

Por su importancia como fuente de néctar para la producción apícola y su capacidad para formar reiteraciones, en *Gymnopodium floribundum* se debe promover la formación de tallos para incrementar el número de ramas con flores mediante la poda, o según Ceccon *et al.* (2003) incrementar la abundancia de brinzales hasta en un 60 % mediante fertilización con N y P.

La arquitectura de los árboles es importante para el diseño de agroecosistemas y el establecimiento de plantaciones comerciales, ya que la estructura geométrica de las copas tiene implicaciones en el funcionamiento, condiciones microclimáticas e interacción planta-patógeno-herbívoro (Altieri *et al.*, 1983; Sinoquet *et al.*, 2009), de

este modo, la conformación de copa de *Caesalpinia gaumeri* y *Gymnopodium floribundum* es adecuada para su utilización en sistemas agroforestales, ya que la primera especie se encuentra en el estrato superior del dosel y permite el paso de luz solar, mientras que la segunda la aprovecha en el estrato bajo-medio. En ambas especies el modelo arquitectónico se mantiene constante en las clases de tamaño (brinzal, latizal y fustal), lo cual indica que está ontogénicamente determinado (Hallé *et al.*, 1978) y sólo se afecta dasométricamente por factores externos como el tipo de suelo, la cantidad de luz, la competencia interespecífica y por la respuesta al disturbio natural (alojamiento de hormigas) o inducido (aprovechamiento de fustes y ramas), lo que se puede mejorar mediante prácticas silvícolas.

## VI. CONCLUSIONES GENERALES

Debido a que se encontraron diferencias significativas del crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* entre categorías diamétricas, calidades de copa e incidencias de luz en la copa, así como entre las estaciones seca y lluviosa del año, la hipótesis planteada no se rechaza.

Las tasas anuales de crecimiento en diámetro variaron de 0.41 a 0.85 cm en categorías diamétricas, de 0.23 a 0.85 cm en calidades de copa y de 0.53 a 0.84 cm en incidencias de luz en la copa. Las sumas totales del crecimiento acumulado en diámetro fueron significativamente mayores para las categorías diamétricas de 12.5 a 22.5 cm en relación con la de 2.5 a 7.5 cm, para la calidad de copa simétrica en comparación con la dañada y para la incidencia total de luz en la copa respecto a la incidencia parcial.

El crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* fue significativamente mayor en la estación lluviosa: 0.56-0.75 cm año<sup>-1</sup> (precipitación = 262-809 mm) que en la seca: 0.00-0.03 cm año<sup>-1</sup> (precipitación = 92-269 mm).

Las características morfológicas y patrones de ramificación observados, ratifican el ajuste de *Caesalpinia gaumeri* al modelo Troll y *Gymnopodium floribundum* al modelo Champagnat.

Las clases de tamaño propuestas para el estudio de cada especie permitieron observar diferencias dasométricas más que arquitectónicas entre los individuos que conforman cada clase, así como dentro de tipos de suelo para los ángulos de inserción y longitudes de ramas; lo anterior se sustenta por la clara separación obtenida mediante el análisis discriminante canónico.

Los atributos dasométricos que mejor contribuyeron a la distinción entre clases de tamaño de individuos y tipos de suelo fueron: diámetro del fuste, alturas total, de copa y a la primera rama; ángulos de inserción de ramas de segundo y tercer orden, longitudes de ramas de primer y segundo orden, así como longitud de entrenudos; todos, caracteres morfológicos que implican crecimiento en altura y amplitud de copa.

Las reiteraciones traumáticas de *Caesalpinia gaumeri* causadas por daños físicos y las cavidades internas por el alojamiento de larvas y hormigas, generan fustes poco cilíndricos o torcidos con cicatrices que restan calidad a la madera impidiendo su uso para la fabricación de muebles; lo que genera una corta selectiva hacia los individuos mejor conformados al momento de llevar a cabo alguna construcción rural.

La posición que ocupa cada especie en los estratos verticales de la vegetación es ecológicamente complementaria, en cuanto a proveerse del recurso luz y evitar la competencia por espacio: en el perfil de vegetación, *Caesalpinia gaumeri* ocupa el estrato superior mientras que *Gymnopodium floribundum* el intermedio. Esta disposición de las especies en la naturaleza se puede copiar y aprovechar en el diseño de sistemas agroforestales multiestrato combinados, para ejercer adecuadamente las prácticas agrosilvopecuarias.



Las características de la madera de *Caesalpinia gaumeri* o kitimché, tales como el olor, sabor y color del duramen, grosor de los rayos, diámetro del lumen en las fibras, diámetro tangencial de los elementos de vaso, corresponden con las cualidades diagnósticas y anatómicas de árboles desarrollados en ambientes de baja disponibilidad de agua, como el típico de la selva baja caducifolia de la región Yucatanense.

La madera de Kitimché, por sus características anatómicas y propiedades físicas, principalmente resistencia, dureza y durabilidad a la intemperie y situaciones de deterioro, ha sido bien aplicada por los habitantes Mayas, para la construcción de viviendas rurales y se puede utilizar en la elaboración de durmientes, postes, duelas y artesanías. Sin embargo, su uso para carpintería y trabajos finos está limitado por defectos como el grano entrecruzado y presencia de cristales de tipo romboidal.

## VI. LITERATURA CITADA

- Altieri M. A., Deborah K. L. y James R. D. 1983. Developing sustainable agroecosystems. *BioScience* 33(1): 45-49.
- Barajas-Morales, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. *IAWA Bulletin n.s. 6*: 355-364.
- Baker, T. R., K. Affum-Baffoe, D. F. R. P. Burslem y M. D. Swaine. 2002. Phenological differences in tree water use and the timing of tropical forest inventories: conclusions from patterns of dry season diameter change. *Forest Ecology and Management* 171: 261-274.
- Barajas-Morales, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. *IAWA Bulletin n.s. 6*: 355-364.
- Ceccon, E., P. Huante y J. Campo. 2003. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the survival and recruitment of seedlings of dominant tree species in two abandoned tropical dry forests in Yucatan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 182: 387-402.

- Del Valle, A. I. 1998. Efectos del raleo en el crecimiento diamétrico de los árboles en bosques de *Camposperma* en Colombia. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* 13(1): 15 p.
- Fichtler, E., V. Trouet, H. Beeckman, P. Coppin y M. Worbes. 2004. Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. *Trees* 18: 442-451.
- García, X. y S. B. Rodríguez. 1993. Cortas intermedias en sitios de vegetación secundaria. *Ciencia Forestal en México* 18(74): 81-100.
- Hallé, F., R. A. A. Oldeman y P. B. Tomlinson. 1978. *Tropical trees and forests, an architectural analysis*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, New York. 441 pp.
- Harold, W. y Jr. Hocker. 1984. *Introducción a la biología forestal*. Primera edición en español. ACT Editor S.A. México. 446 pp.
- Hernández, L. y H. Castellanos. 2006. Crecimiento diamétrico arbóreo en bosques de Sierra de Lema, Guayana Venezolana: primeras evaluaciones. *Interciencia* 31(11): 779-786.
- López-Ayala, J. L., J. I. Valdez-Hernández, T. Terrazas y J. R. Valdez-Lazalde. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40: 139-147.
- López-Torres, J. L. y J. C. Tamarit-Urias. 2005. Crecimiento e incremento en diámetro de *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. En bosques secundarios en Escárcega, Campeche, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Medio Ambiente* 11(2): 117-123.
- Louman, B., D. Quirós y M. Nilsson. 2001. *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Serie Técnica. Manual Técnico No 46. CATIE. Costa Rica. 265 p.
- Madden, D. y T. P. Young. 1992. Symbiotic ants as an alternative defense against giraffe herbivory in spinescent *Acacia drepanolobium*. *Oecología* 91: 235-238.
- Mckey, D. 1984. Interaction of the ant-plant *Leonardoxa africana* (Caesalpinaceae) with its obligate inhabitants in a rain forest in Cameroon. *Biotropica* 16: 81-99.
- Makocki, M. W. y J. I. Valdez-Hernández. 2001. Radial growth periodicity of trees species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of Mexico:

- Implications for their management. In: Proceedings of the IUFRO Joint Symposium on Tree Seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture. College of Forestry and Natural Resources, University of the Philippines, Los Baños. pp. 85-96.
- Midgley, J. J. 2003. Is bigger better in plants? The hydraulic costs of increasing size in trees. *Trends in Ecology & Systematics* 18 (1): 5-6.
- Pereira, da Silva R., J. Dos Santos, E. Siza, J. Chambers, S. Nakamura y N. Higuchi. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166: 295-301.
- Poorter L., Bongers L., Bongers F. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-off and functional groups. *Ecology* 87(5): 1289-1301.
- Punches, J. 2006. Tree growth, forest management and their implications for wood quality. A Pacific Northwest Extension Publication. Oregon State University. University of Idaho. Washington State University. USA. 8 p.
- Reich, P. B. 1995. Phenology of tropical forest: patterns, causes and consequences. *Can. J. Botany* 73: 164-174.
- Reich, P. B. y R. Borchert. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 72: 61-74.
- Schulz, A. y T. Wagner. 2002. Influence of forest type and tree species on canopy ants (Hymenoptera: Formicidae) in Bugondo Forest, Uganda. *Oecologia* 133: 224-232.
- Silva, J. N. M., J. O. P. de Carvalho, J. C. A. do Lopes, B. F. de Almeida, D. H. M. Costa, L. C. de Oliveira, J. V. Vanclay y J. P. Skovsgaard. 1995. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. *Forest Ecology and Management* 71: 267-274.
- Sinoquet H., S. Pincebourde, B. Adam, N. Donès. 2009. 3-D maps of tree canopy geometries at leaf scale *Ecological Archives* E090-019. *Ecology*. 90(1): 283.
- Swaine, M. D., J. B. May y I. J. Alexander. 1987. Tree populations dynamics at Kade, Ghana (1968-1982). *Journal of Tropical Ecology* 3: 331-345.
- Tome, M. y H. E. Burkhart. 1989. Distance-dependent competition measure for predicting growth of individual trees. *For. Sci.* 35: 816-831.

- Uslar, Y. V., B. Mostacedo y M. Saldías. 2003. Composición, estructura y dinámica de un bosque seco semidecíduo en Santa Cruz, Bolivia. Documento Técnico 114/2003. Chenomics International Inc. USAID/Bolivia. 28 p.
- Veillon, J. P. 1985. El crecimiento de algunos bosques naturales de Venezuela en relación con los parámetros del medio ambiente. *Revista Forestal Venezolana* 19(1): 5-120.
- Vester H.F.H. 2002. Modelos arquitectónicos en la flora arbórea de la Península de Yucatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 71: 45-57.
- Wright, S. J. 1991. Seasonal drought and the phenology of understory shrubs in a tropical moist forest. *Ecology* 72(5): 1643-1657.