

INFLUENCIA DE FACTORES MORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES SOBRE EL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE *Caesalpinia gaumeri* Greenm EN UN BOSQUE TROPICAL CADUCIFOLIO, EN MÉXICO

INFLUENCE OF MORPHOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS ON DIAMETER GROWTH OF *Caesalpinia gaumeri* Greenm IN A TROPICAL DECIDUOUS FOREST IN MEXICO

Víctor M. Interián-Ku¹; Humberto Vaquera-Huerta²;
Juan I. Valdez-Hernández³; Edmundo García-Moya^{1*};
Angélica Romero-Manzanares¹; Amparo Borja-De la Rosa⁴.

¹Postgrado en Botánica, ²Programa en Estadística, ³Programa Forestal, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. C. P. 56230. Correo e: edmundo@colpos.mx Tel.: (595) 95 2 02 00 ext. 1308, fax (595) 95 2 02 47

(* Autor para correspondencia).

⁴División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. México. C. P. 56230.

RESUMEN

C*aesalpinia gaumeri* Greenm es una especie de gran importancia económica en la selva baja caducifolia del sureste de México. La madera de esta especie es utilizada como poste en las construcciones rurales. Este estudio tiene por objeto conocer la influencia de los factores morfológicos y ambientales en el crecimiento diamétrico anual, así como el turno para el aprovechamiento de la madera. Se evaluó el crecimiento diamétrico de 32 árboles ubicados en cuatro categorías diamétricas y clasificados de acuerdo con la calidad y la incidencia de luz solar en su copa. El estudio duró 22 meses; el diámetro a la altura del pecho se registró bimensualmente y las variables climáticas (temperatura ambiental, humedad relativa y precipitación total), diariamente. Los resultados sugieren que la tasa de crecimiento anual (TCA) incrementa de las categorías diamétricas menores a las mayores, de las calidades de copa dañadas a las simétricas y de las incidencias intermedias de luz solar a las de incidencia total. La mayor TCA se observó en las categorías diamétricas de 12.50 a 22.49 cm, en árboles con copas simétricas e incidencia de luz solar plena sobre la copa. La TCA acumulada se correlacionó positivamente ($r = 0.94$) y fue altamente significativa ($P < 0.001$) con la precipitación. Para un buen crecimiento diamétrico de *C. gaumeri* se requiere de la combinación de diámetros mayores en el fuste, mayor calidad de la copa, incidencia de luz solar plena en la copa y la estación lluviosa.

PALABRAS CLAVE: Banda dendrométrica, tasa de crecimiento, categorías diamétricas, calidad de copa, incidencia de luz solar.

ABSTRACT

C*aesalpinia gaumeri* Greenm is an important timber species in the tropical deciduous forest in southeast Mexico. The trunks of this species are used as posts in rural construction. In this study we investigated which morphological and environmental factors influence annual diameter growth, in order to establish the best turnover period. Diameter growth in 32 trees located in four diameter categories were evaluated and classified according to quality and sunlight incidence on the crowns of the trees. The study lasted 22 months and the diameter at breast height was measured and recorded bi-monthly. The results indicate that Average Growth Rate (AGR) increased from the smallest to the largest diameter categories, from the damaged to the healthy crown qualities and from intermediate to total incidences of sunlight. Highest AGR was observed in diameter categories of 12.50 to 22.49 cm in trees with symmetrical crown quality and the crown under full sunlight. The cumulative AGR was highly significant ($P < 0.001$) and positively correlated ($r = 0.94$) with the precipitation. Good growth in diameter for *C. gaumeri* requires a combination of bigger stem diameter, healthy and symmetric crown, full incidence of sunlight on the crown and a rainy season.

KEYWORDS: Dendrometer band, growth rate, diameter categories, crown quality, sunlight.



Recibido: 28 de mayo, 2013

Aceptado: 30 de abril, 2014

doi: 10.5154/r.chsca.2013.05.018

<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

La tasa de crecimiento anual en diámetro de los árboles es un rasgo importante que se utiliza en la selección de especies y su uso potencial en la reforestación, la restauración ecológica y la construcción de zonas urbanas verdes (Corral & Navar, 2005; Worbes, 1995). Algunos estudios han relacionado la tasa de crecimiento con algunas variables tales como: los gradientes de elevación (Hernández & Castellanos, 2006), la temperatura (Kozłowski, Winget, & Torrie, 1962), la precipitación (Palmer & Ogden, 1983), la competencia por luz solar y los cambios en las condiciones de la copa (Chauchard & Sbrancia, 2003), los gradientes de elevación (Hernández & Castellanos, 2006) y el tiempo (Ricker & del Río, 2004). Una técnica para estudiar el cambio en el diámetro del fuste del árbol es el uso de una banda dendrométrica (Liming, 1957) la cual fue modificada por Cattelino, Becher, y Fuller (1986), quienes proporcionan detalles sobre su construcción e instalación. Esta técnica se ha utilizado sobre todo para especies de angiospermas (*Nyssa aquatica* L. y *N. sylvatica* var. *biflora* [Walter] Sargent) en los bosques templados, una gimnosperma (*Taxodium distichum* [L.] Rich.) (Keeland & Sharitz, 1993) y especies tropicales en las selvas amazónicas (Da Silva et al., 2002). En México, la banda dendrométrica se ha utilizado en las especies maderables como *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Cordia elaeagnoides* D. C. (López-Ayala, Valdez-Hernández, Terrazas, & Valdez-Lazalde, 2006) y en los bosques tropicales de hoja caduca, ya que se considera una técnica sencilla, barata y precisa.

En el estado de Yucatán se reportan 287 especies de árboles (Ibarra-Manríquez, Villaseñor, & Durán, 1995). En relación con ello, la experiencia y el conocimiento tradicional de los mayas sobre los ecosistemas tropicales y técnicas agroforestales han hecho posible el uso de entre 100 y 250 especies de árboles (Toledo, Barrera-Bassols, García-Frapolli, & Alarcon-Chaires, 2008). Once de estas especies son altamente apreciadas debido a la densidad, el área basal y la importancia de los árboles en la economía del área: *Gymnopodium floribundum* Rolfe, *Thouinia paucidentata* Radlk., *Caesalpinia gaumeri* Greenm., *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Guettarda elliptica* Sw., *Lonchocarpus yucatanensis* Pittier, *Diospyros anisandra* S. F. Blake, *Neeachoriophylla* Standl., *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., *Bauhinia divaricata* L. y *Acacia gaumeri* Blake (White & Hood, 2004). *Caesalpinia gaumeri* (Caesalpinaceae) es una de las especies tropicales más valiosas debido a su resistencia a la pudrición. Los troncos son utilizados en la construcción de vivienda de los mayas, principalmente como postes (pilares) (25 % de toda la casa), producción de carbón (16 % de un horno) y leña (Levy & Hernández, 1994). A pesar de la alta demanda de *C. gaumeri*, los estudios relacionados con su crecimiento diámetro son escasos. Los datos obtenidos durante el presente estudio podrían ser de gran ayuda para encontrar formas de uso sustentable de la especie.

El estudio tuvo el objetivo de estimar la tasa de crecimiento

INTRODUCTION

Annual diameter growth rate in trees is an important trait used in the selection of species and their potential use in reforestation, ecological restoration, and construction of urban green areas (Corral & Navar, 2005; Worbes, 1995). Some studies have related growth rate with variables such as: elevation gradients (Hernández & Castellanos, 2006), temperature (Kozłowski, Winget, & Torrie, 1962), precipitation (Palmer & Ogden, 1983), competition for sunlight and changes in conditions of the crown (Chauchard & Sbrancia, 2003), elevation gradients (Hernández & Castellanos, 2006) and time (Ricker & Del Río, 2004). A technique to study the change in tree stem diameter is the use of a dendrometer band (Liming, 1957) which was modified by Cattelino, Becher, and Fuller (1986), who provided details for its construction and installation. This technique has been used primarily for angiosperm species (*Nyssa aquatica* L. and *N. sylvatica* var. *biflora* [Walter] Sargent) in temperate forests, a gymnosperm (*Taxodium distichum* [L.] Rich.) (Keeland & Sharitz, 1993) and tropical species in the Amazonian rainforests (Da Silva et al., 2002). In Mexico, the dendrometer band has been used in timber species such as *Tabebuia donnell-smithii* Rose and *Cordia elaeagnoides* D. C. (López-Ayala, Valdez-Hernández, Terrazas, & Valdez-Lazalde, 2006) and in deciduous tropical forests, since it is considered a simple, cheap and precise technique.

The state of Yucatán has 287 tree species (Ibarra-Manríquez, Villaseñor, & Durán, 1995). Regarding this, traditional Mayan expertise and knowledge of tropical ecosystems and agroforestry techniques, made it possible to use between 100 and 250 tree species (Toledo, Barrera-Bassols, García-Frapolli, & Alarcon-Chaires, 2008), 11 of which are highly appreciated due to the tree density, basal area and importance in the economy of the area: *Gymnopodium floribundum* Rolfe, *Thouinia paucidentata* 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. and *Acacia gaumeri* Blake (White & Hood, 2004). *Caesalpinia gaumeri* (Caesalpinaceae) is one of the most valuable tropical species due to its resistance to rotting. The trunks are used in the construction of Mayan housing, mainly as posts (pillars) (25 % of the whole house), charcoal production (16 % of an oven) and firewood (Levy & Hernández, 1994). Despite the high demand for this species, studies on its growth are scanty. The data obtained during the present study may be helpful to find ways of making sustainable use of it.

The aim of this study was to estimate the annual growth rate and cumulative growth in diameter of *C. gaumeri* by diameter category, crown quality and incidence of sunlight on the crown, as well as relating growth with some climatic factors in the study area. We intended to test if there is a significant variation throughout the year in the cumulative growth in

anual y el crecimiento acumulado en diámetro de *C. gaumeri* por categoría de diámetro, calidad de la copa e incidencia de luz solar sobre la copa, así como relacionar el crecimiento con algunos factores climáticos en el área de estudio. Se intenta probar que el crecimiento acumulado en diámetro de *C. gaumeri* varía significativamente a lo largo del año y que algunos factores climáticos en el área de estudio se correlacionan significativamente con el crecimiento en diámetro. Las hipótesis planteadas son: 1) las categorías de diámetro, la calidad de la copa y la incidencia de luz solar sobre los árboles producen diferencias en la pendiente de incremento del diámetro y 2) las diferencias en el incremento del diámetro son influenciadas por las temporadas secas y de lluvias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación fue conducida en la propiedad "San Manuel" (20° 23' 46" N y 89° 26' 19" O, a 24 m de altitud), localizada en el municipio de Dzan, Yucatán, en un bosque tropical caducifolio de aproximadamente 60 años de edad, en una etapa serial tardía llamada *Nukuch k'aax* (bosque alto) en lengua maya, y sin perturbación humana aparente. La condición climática en el sitio de estudio es templada sub-húmeda con lluvias en verano, precipitación anual promedio de 1,200 mm y temperatura anual promedio de 21.1 °C (García, 1988). Los tipos predominantes de suelos son luvisoles (*k'ankab*) y leptosoles (*tzek'el, bo'ox lu'um*) (Duch, 1994). Las especies arbóreas más importantes son *B. simaruba*, *T. paucidentata*, *G. floribundum*, *C. gaumeri*, *L. yucatanensis*, *G. elliptica*, *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth., *Spondias mombin* L. y *Piscidia piscipula* (L.) Sarg. La población es de cerca de 400 árboles-ha⁻¹, la profundidad del suelo es de aproximadamente 2.7 cm, 37 % de presencia de rocas y los árboles no alcanzan más de 15 m (White & Hood, 2004).

Selección de árboles, colocación de la banda dendrométrica y colecta de datos

Seis unidades de muestreo (10 x 20 m) fueron seleccionadas de acuerdo con White y Hood (2004), donde todos los individuos de *C. gaumeri* fueron identificados y 32 fueron elegidos con troncos rectos y limpios, además de no presentar señales de enfermedad. Los árboles fueron clasificados por categoría de diámetro (CD): CD I = 2.5-7.49 cm (ocho árboles), CD II = 7.5-12.49 cm (ocho árboles), CD III = 12.5-17.49 cm (ocho árboles) y CD IV = 17.5-22.49 cm (ocho árboles). Con base en la metodología propuesta por Dawkins (1958), adaptada por Manzano-Méndez, Valdez-Hernández, López-López, y Vaquera-Huerta (2010), los 32 individuos fueron clasificados (subjectivamente) conforme a la calidad (Q) de sus copas: Q1 = ramas muy dañadas, suprimidas y asimétricas (dos árboles), Q2 = ramas bien formadas, pero aún asimétricas (15 árboles), Q3 = ramas vigorosas, bien formadas y simétricas (15 árboles). Los ár-

diameter and if, there are some climate factors of the study area significantly correlated with the growth in diameter of *C. gaumeri*. Our hypotheses are: 1) Diameter categories, crown quality and incidence of sunlight on the trees produce differences in the slope of diameter development, and 2) Differences in the diameter increment are influenced by the dry and rainy seasons.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The research was carried out in the "San Manuel" property (20° 23' 46" N and 89° 26' 19" W, 24 masl), located in the municipality of Dzan, Yucatán, in an approximately 60-year-old tropical deciduous forest in a late serial stage named *Nukuch k'aax* (tall forest) in the Mayan language, and with no apparent human disturbance. The climatic condition in the study site is warm sub-humid with summer rains, average annual precipitation of 1,200 mm and average annual temperature of 21.1 °C (García, 1988). The predominant soil types are luvisols (*k'ankab*) and leptosols (*tzek'el, bo'ox lu'um*) (Duch, 1994). The most important tree species are *B. simaruba*, *T. paucidentata*, *G. floribundum*, *C. gaumeri*, *L. yucatanensis*, *G. elliptica*, *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth., *Spondias mombin* L. and *Piscidia piscipula* (L.) Sarg. The tree population is about 400 trees-ha⁻¹, at 2.7 cm soil depth, rock presence of 37 %, and not reaching over 15 m (White & Hood, 2004).

Tree selection, dendrometer band placement and data collection

Six sampling units (10 x 20 m) were randomly selected according to White and Hood (2004) on 10,000 m², where all the individuals of *C. gaumeri* were identified and 32 were chosen with straight and clean trunks with no signs of disease. These trees were classified by diameter category (DC): DC I = 2.5-7.49 cm (eight trees), DC II = 7.5-12.49 cm (eight trees), DC III = 12.5-17.49 cm (eight trees) and DC IV = 17.5-22.49 cm (eight trees). Based on the methodology suggested by Dawkins (1958) and adapted by Manzano-Méndez, Valdez-Hernández, López-López, and Vaquera-Huerta (2010), the 32 individuals were classified (subjectively) according to the quality (Q) of their crowns: Q1 = very damaged branches, suppressed and asymmetrical (two trees), Q2 = well-formed branches yet asymmetrical (15 trees), Q3 = vigorous branches, well-formed and symmetrical (15 trees); as well as on the incidence of sunlight (L) on the crowns: L1 = little or no incidence (zero trees), L2 = partial incidence (17 trees) and L3 = total incidence (15 trees). Dendrometer bands were installed on the 32 individuals selected, according to Cattellino et al. (1986). Bi-monthly readings were taken from December 2006 to September 2008. A thermometer measured maximum and minimum temperatures, a clock hygrometer recorded relative humidity and a container with known perimeter and depth, was used to collect precipitation. The maximum and minimum air temperature (°C) data were taken dur-

boles también fueron clasificados conforme a la incidencia de luz solar (L) en sus copas: L1 = poca o nula incidencia (ningún árbol), L2 = incidencia parcial (17 árboles) y L3 = incidencia total (15 árboles). Las bandas dendrométricas fueron instaladas en los 32 individuos seleccionados de acuerdo con Cattelino et al. (1986). Lecturas bimensuales fueron tomadas desde diciembre de 2006 hasta septiembre de 2008. Las temperaturas máximas y mínimas se midieron con un termómetro, la humedad relativa se registró con un higrómetro y la precipitación se colectó en un contenedor con perímetro y profundidad conocidos. Los datos de temperatura ambiente máxima y mínima (°C) fueron tomados durante las mañanas y los datos de humedad relativa (%) fueron registrados tres veces por día: en la mañana (antes de las 8:00 h), la tarde (13:00-14:00 h) y noche (antes de las 20:00 h), con el propósito de obtener los promedios diarios. La precipitación se midió después de cada evento de lluvia con un tubo de ensayo de plástico (2 L).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el software SAS (Statistical Analysis System, 1999) versión 8.0. Se utilizó el método de regresión de selección de variables *stepwise*, para elegir las que mejor explican el crecimiento en diámetro de *C. gaumeri*. Las variables evaluadas fueron las siguientes: días acumulados en el momento de la medición (t), temperatura promedio (T_{pr}), precipitación total (P) y humedad relativa promedio (H_{pr}). Para explicar el crecimiento acumulado en función de la temperatura y la precipitación, se utilizó el siguiente modelo de regresión polinomial:

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

Donde:

y = Crecimiento en diámetro acumulado (cm)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = Parámetros desconocidos del modelo asociado con las explicativas.

β_0 = Intercepto de la pendiente de la regresión equivalente a la etapa de crecimiento inicial de categoría de diámetro, calidad de copa o incidencia de luz solar sobre la copa.

β_1 y β_2 = Cambio de la pendiente con relación al crecimiento como función del tiempo acumulado (t) entre observaciones.

β_3 y β_4 = Cambio en la pendiente con relación al crecimiento como una función de la precipitación (P).

E = Error aleatorio

Las variables T_{pr} y H_{pr} no proporcionaron información relevante para explicar el crecimiento en diámetro, de tal manera que no se muestran en el modelo (Cuadro 1). Para investigar la relación de la tasa de crecimiento acumulado en diámetro con la categoría de diámetro, la calidad de la copa y la incidencia de la luz solar sobre la copa entre las temporadas seca y de lluvia, se utilizó análisis de varianza multivariante (MANOVA) de medidas repetidas. Con los datos de

ing the mornings, and the relative humidity data (%) were recorded three times per day: in the morning (before 8:00 h), afternoon (13:00-14:00 h) and night (before 20:00 h), in order to obtain daily averages. Precipitation was measured after each rain event, with a plastic test tube (2 L).

Statistical analyses

The regression "stepwise" variable selection method was used. Data analysis for this paper was generated using SAS software to choose the variables that best explained *C. gaumeri* diameter growth: days accumulated at the time of measurement (t), average temperature (T_{av}), total precipitation (P) and average relative humidity (H_{av}). To explain the cumulative growth as a function of temperature and precipitation, the following polynomial regression model was used:

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

Where:

y = Cumulative diameter growth (cm)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = Unknown model parameters associated with the explicative.

β_0 = Intercept of the regression slope equivalent to the initial growth stage of the diameter category, crown quality or incidence of sunlight on the crown.

β_1 and β_2 = Slope change with regards to the growth as a function of accumulated time (t) between observations.

β_3 and β_4 = Slope change with regards to the growth as a function of precipitation (P).

E = Random error.

The variables T_{av} and H_{av} did not provide relevant information in explaining the growth in diameter, thus they are not shown in the model (Table 1). To investigate the relationship between cumulative growth rate in diameter and diameter category, crown quality and incidence of sunlight on the crown between dry and rainy seasons, a repeated multivariate analysis of variance (MANOVA) was used. With the data of accumulated precipitation and cumulative diameter growth rate, a correlation test was carried out, in order to explain the relationship between these two variables. The diameters of the trunks used in Mayan housing were also recorded, to know if the annual growth rate is appropriate or not for the fallow period (uncultivated land) in the study area.

RESULTS AND DISCUSSION

The time (accumulated days) and precipitation were the variables that best explained the regression model (Table 1). The accumulated growth rate curves by diameter categories are shown in Figure 1; those by crown quality are considered in Figure 2, and those curves originated by sunlight incidence on the crown are shown in Figure 3 (trees with L1 = little or no incidence of sunlight on the crown is shown).

precipitación acumulada y la tasa de crecimiento acumulado, se realizó una prueba de correlación, con el propósito de explicar la relación entre estas dos variables. Los diámetros de los troncos utilizados en la construcción de viviendas de los mayas también fueron registrados, para saber si la tasa de crecimiento anual es apropiada o no para el periodo de barbecho (tierra sin cultivar) en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tiempo (días acumulados) y la precipitación fueron las variables que explicaron de mejor manera el modelo de regresión (Cuadro 1). Las curvas de tasa de crecimiento acumulado por categorías de diámetro se muestran en la Figura 1, las de calidad de la copa son consideradas en la Figura 2, y aquellas curvas originadas por la incidencia de luz solar en la copa se muestran en la Figura 3 (se muestran árboles con L1 = poca o ninguna incidencia de luz solar sobre la copa).

El análisis de varianza multivariable utilizado para probar la relación entre el crecimiento acumulado y el tiempo de evaluación sugiere que no existe diferencia en el crecimiento entre las categorías diamétricas de *C. gaumeri*. Por otro lado, se encontró una clara diferencia entre la calidad de la copa, la incidencia de luz solar sobre la copa y entre las consecutivas temporadas de seca y de lluvias (Cuadro 2).

La tasa de crecimiento anual incrementó desde las categorías más pequeñas (CD I y CD II) hacia las más grandes (CD III, CD IV), desde la calidad de copa dañada (Q1) hacia la

The multivariate analysis of variance used to test the relationship between the cumulative growth and time of assessment suggests that there is no difference in the growth among the diametric-categories of *C. gaumeri*. On the other hand, a clear difference between crown quality, incidence of sunlight on crown and between these consecutive dry and rainy seasons was found (Table 2).

The annual growth rate increased from the smallest categories (DC I and DC II) to the largest (DC III, DC IV), from the damaged (Q1) crown quality to the symmetrical (Q3), and from the partial incidence of sunlight (L2) to total incidence (L3) on the crown (Table 3).

There is a tendency toward greater diameter growth in trees classified in bigger size categories as compared to those in smaller, as Uslar, Mostacedo, and Saldías (2003), and Hernández and Castellanos (2006) mention other tropical species. A possible explanation of this phenomenon is that trees that belong to smaller and intermediate size categories are suppressed (in competitive terms) under the dense canopy, and those of larger categories occur in the upper canopy (Hernández & Castellanos, 2006). It is common for trees that belong to the upper canopy to try to increase height in early stages, limiting their growth in diameter and crown width (Harold & Hocker, 1984); once they reach the upper canopy, they improve the structural conformation of their crowns and can capture a greater amount of sunlight, reducing the competition with neighboring trees (Louman, Quirós, & Nilsson, 2001), a behavior

CUADRO 1. Coeficientes de determinación (R²) parcial de las variables seleccionadas mediante el procedimiento *stepwise* e incluidas, en el modelo de regresión polinomial para explicar el crecimiento en diámetro (cm) de *Caesalpinia gaumeri*.

TABLE 1. Partial R² of the selected variables (through the stepwise procedure), to be included in the polynomial regression model to explain the growth in diameter (cm) of *Caesalpinia gaumeri*.

Clasificación / Classification		Tiempo (días) / Time (days)	Precipitación (mm) / Precipitation (mm)
Categoría de diámetro / Diameter category	CD I / DC I	0.9354***	0.0382*
	CD II / DC II	0.9260***	0.0327 ^{ns}
	CD III / DC III	0.9378***	0.0239 ^{ns}
	CD IV / DC IV	0.9285***	0.0511*
Calidad de copa / Crown quality	Q1	0.7357**	----
	Q2	0.9473***	0.0243 ^{ns}
	Q3	0.9294***	0.0447*
Incidencia de luz solar / Incidence of sunlight	L2	0.9446***	0.0264 ^{ns}
	L3	0.9278***	0.0440*

***P ≤ 0.001; **P ≤ 0.01; *P ≤ 0.05; ns = no significativa

***P ≤ 0.001; **P ≤ 0.01; *P ≤ 0.05; ns = not significant

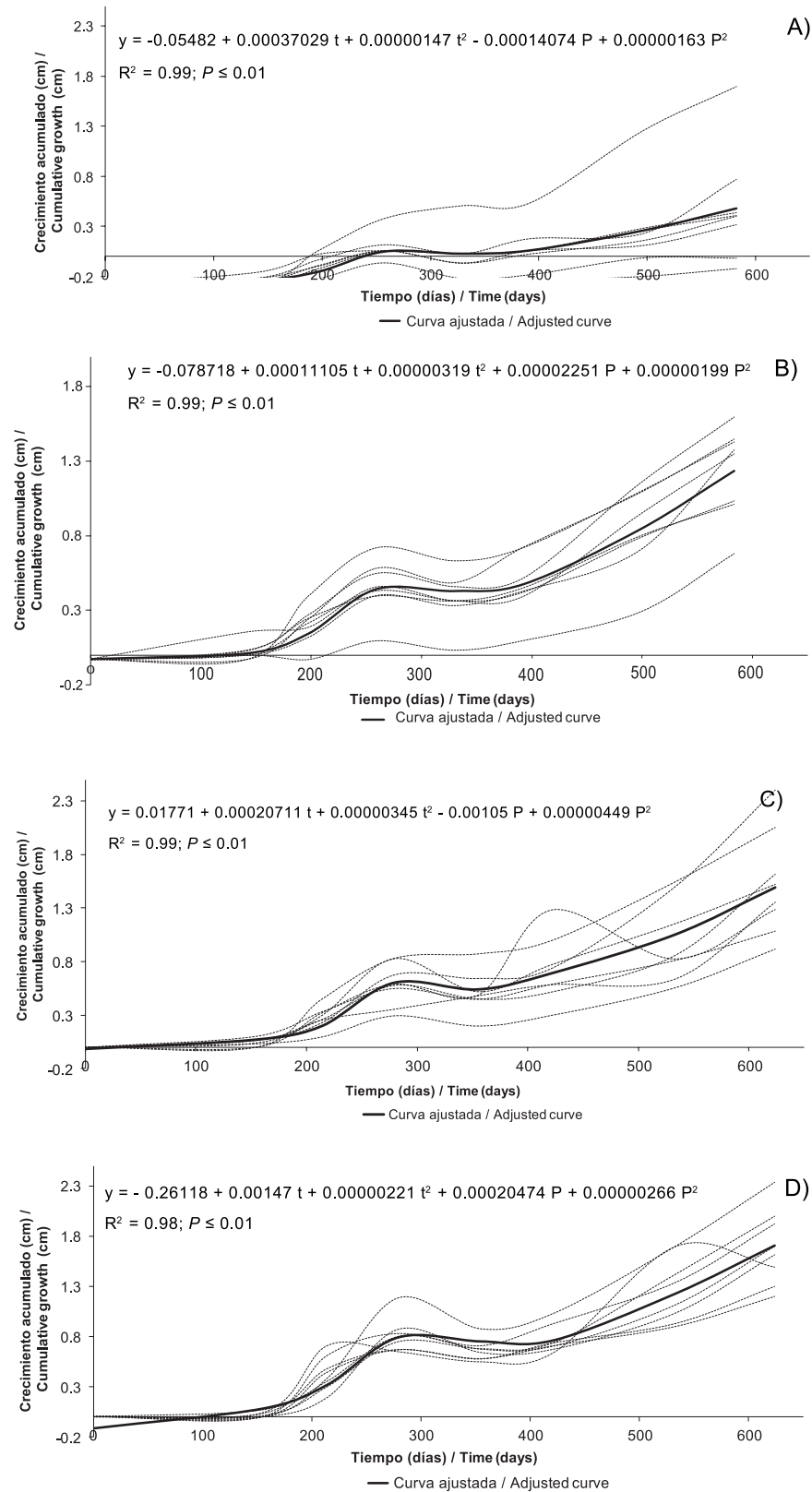


FIGURA 1. Tasa de crecimiento en diámetro acumulado de 32 individuos de *Caesalpinia gaumeri* por categoría de diámetro: A) CD I (2.5-7.49 cm; n = 8), B) CD II (7.5-12.49 cm; n = 8), C) CD III (12.5-17.49 cm; n = 8) y D) CD IV (17.5-22.49 cm; n = 8).

FIGURE 1. Cumulative diameter growth rate of 32 *Caesalpinia gaumeri* individuals by diameter category: A) DC I (2.5-7.49 cm; n = 8), B) DC II (7.5-12.49 cm; n = 8), C) DC III (12.5-17.49 cm; n = 8) and D) DC IV (17.5-22.49 cm; n = 8).

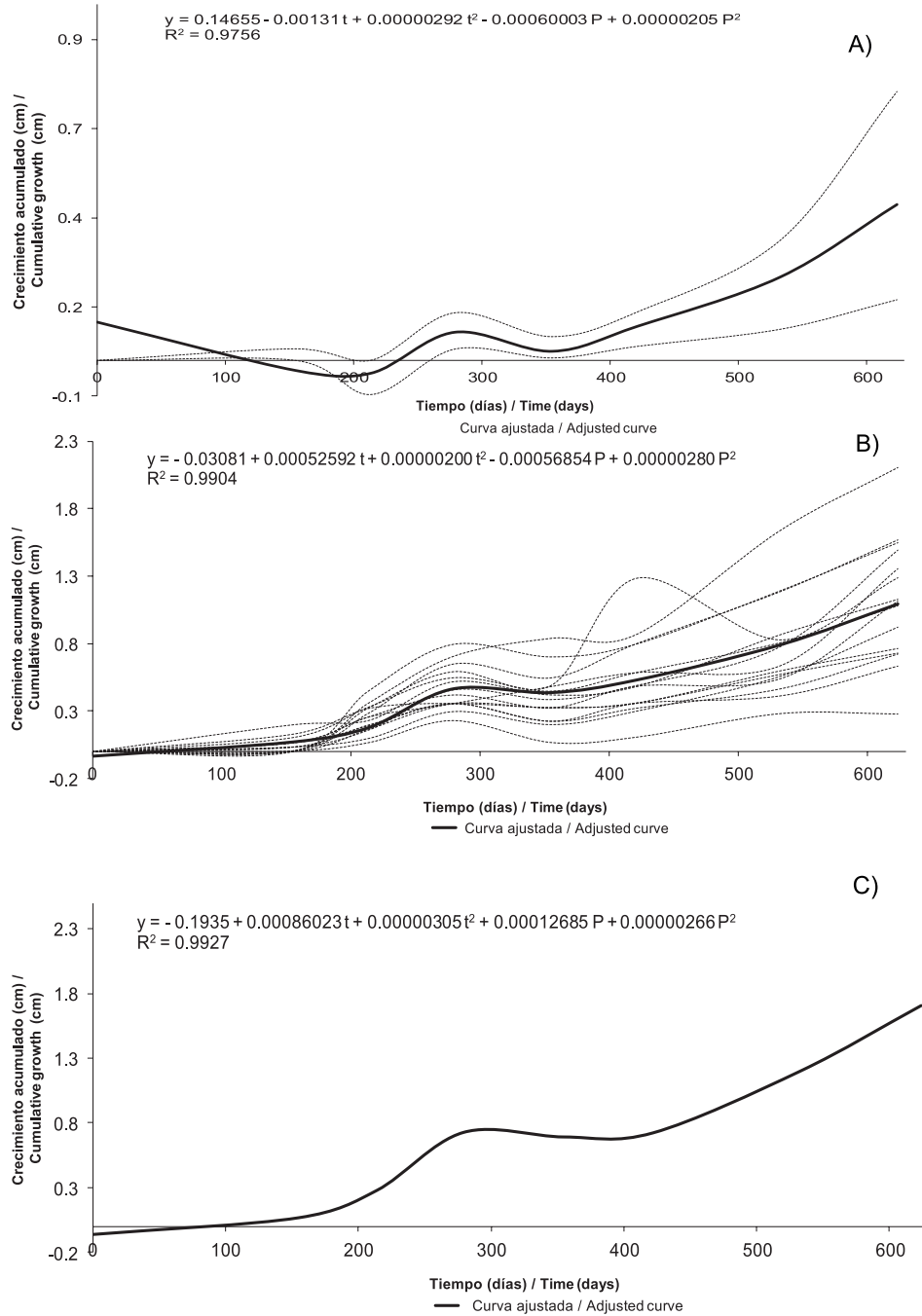


FIGURA 2. Tasa de crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* (n = 32) por calidad de copa: A) Q1, dañada (n = 2); B) Q2, asimétrica (n = 15); C) Q3, simétrica (n = 15).

FIGURE 2. Cumulative diameter growth rate of *Caesalpinia gaumeri* (n = 32) by crown quality: A) Q1, damaged (n = 2); B) Q2, asymmetrical (n = 15); C) Q3, symmetrical (n = 15).

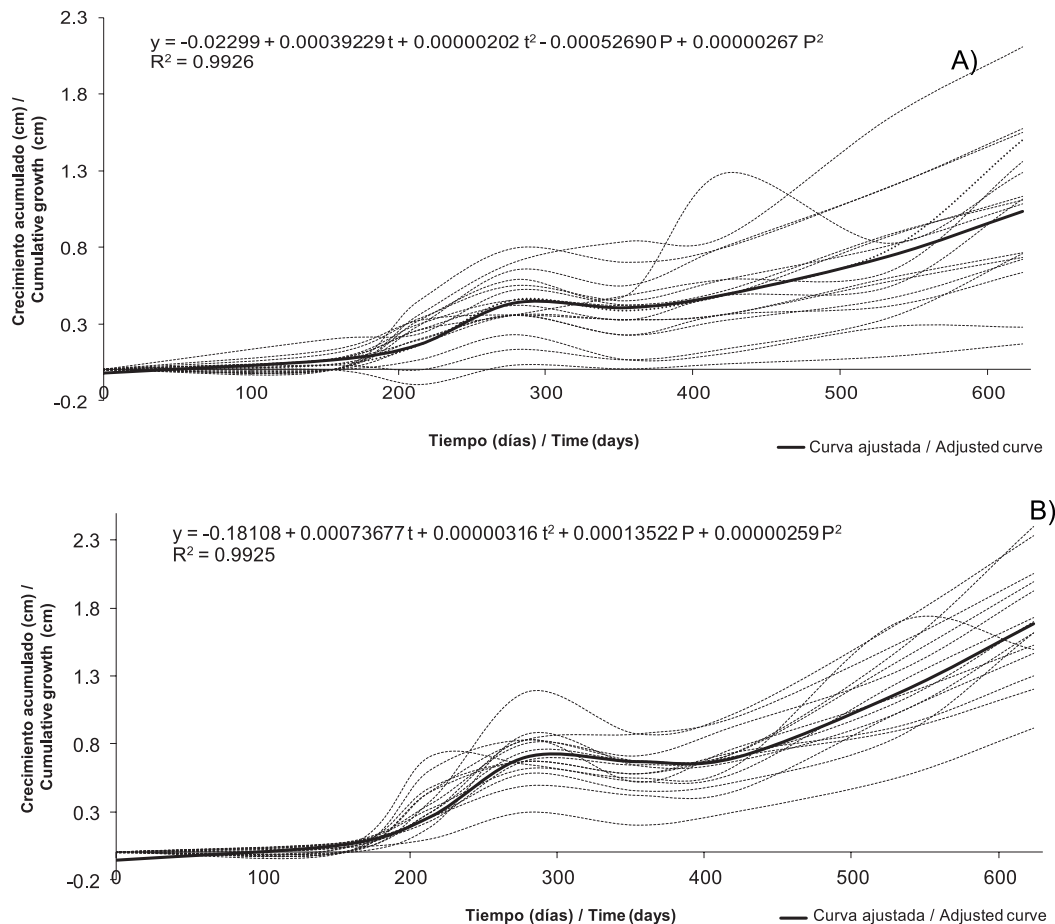


FIGURA 3. Tasa de crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* (n = 32) por incidencia de luz solar sobre la copa: A) L2, parcial (n = 17); L3, total (n = 15). L1 no fue incluida porque no se encontraron árboles con poca o nula incidencia de luz solar.

FIGURE 3. Cumulative diameter growth rate of *Caesalpinia gaumeri* (n = 32) by incidence of sunlight on the crown: A) L2, partial (n = 17); B) L3, total (n = 15). L1 was not included because trees were not found with these characteristics.

simétrica (Q3), y desde la incidencia parcial de luz solar sobre la copa (L2) hacia la plena luz solar (L3) (Cuadro 3).

Existe una tendencia hacia mayor crecimiento en diámetro en árboles clasificados en las categorías de mayor tamaño en comparación con aquellas de menor tamaño, tal como Uslar, Mostacedo, y Saldías (2003), y Hernández y Castellanos (2006) refieren para otras especies tropicales. Una posible explicación a este fenómeno es que los árboles que pertenecen a categorías de tamaño más pequeñas e intermedias están suprimidos (en términos competitivos) bajo el dosel denso, y los de las categorías más grandes generalmente se encuentran sobre en el dosel superior (Hernández & Castellanos, 2006). Es común que los árboles que pertenecen al dosel superior intenten aumentar altura en etapas tempranas, limitando su crecimiento en diámetro y anchura de copa (Harold & Hocker, 1984); una vez que alcanzan el dosel superior, mejoran la conformación estructural de sus copas y capturan una mayor cantidad de luz solar, reduciendo la competencia con árboles vecinos (Louman, Quirós,

observed in *C. gaumeri* (Interián-Ku et al., 2009). *Caesalpinia gaumeri* can be classified as a heliophyte (intolerant to the shade), as is *Caesalpinia velutina* (Britton & Rose) Standley as mentioned by Manzanero and Pinelo (2004). The results obtained for *C. gaumeri* in this study confirm that trees that belong to greater diameter categories, with better crown quality and full sunlight on them grew more in diameter as compared to those in smaller categories, with lower crown quality and partial incidence of sunlight on them. This would suggest that pruning crowns in natural tree stands can favor growth in height during the early stages of *C. gaumeri*, since this species can be classified as a heliophyte, as is the case with *C. velutina* as reported by Manzanero and Pinelo (2004).

Vester and Navarro (2007) report an annual diameter growth rate of 0.13 to 0.21 for *Caesalpinia mollis* (Kunth) Spreng in Quintana Roo and Campeche, and Uslar et al. (2003) report 0.30 cm for *Caesalpinia pluviosa* D. C. in Bolivia, which is similar to the annual rate obtained in this study

CUADRO 2. Análisis de varianza multivariable para la tasa de crecimiento acumulado en diámetro (cm) de *Caesalpinia gaumeri* en el tiempo por categoría de diámetro, calidad de copa, e incidencia de luz solar sobre la copa entre las temporadas secas .

TABLE 2. Multivariate analysis of variance for cumulative growth rate in diameter (cm) of *Caesalpinia gaumeri* for time, diameter category, crown quality and incidence of sunlight on the crown between dry seasons.

Estadísticos / Statistics	Valor / Value	Significancia estimada (P value) / Estimated significance (P value)
Categoría de diámetro / Diameter category		
Lambda de Wilks / Wilks' Lambda	0.2707	0.0458
Traza de Pillai / Pillai Trace	0.9853	0.0554
Traza de Hotelling-Lawley / Hotelling-Lawley Trace	1.8092	0.0521
Raíz mayor de Roy / Roy's greatest root	1.1282	0.0059
Calidad de copa / Crown quality		
Lambda de Wilks / Wilks' Lambda	0.2816	0.0032
Traza de Pillai / Pillai Trace	0.8377	0.0102
Traza de Hotelling-Lawley / Hotelling-Lawley Trace	2.1280	0.0018
Raíz mayor de Roy / Roy's greatest root	1.9057	0.0002
Incidencia de luz solar sobre la copa / Incidence of sunlight on the crown		
Lambda de Wilks / Wilks' Lambda	0.4496	0.0038
Traza de Pillai / Pillai Trace	0.5504	0.0038
Traza de Hotelling-Lawley / Hotelling-Lawley Trace	1.2243	0.0038
Raíz mayor de Roy / Roy's greatest root	1.2243	0.0038
Temporadas secas y de lluvias / Dry and rainy seasons		
Lambda de Wilks / Wilks' Lambda	0.2105	0.0001
Traza de Pillai / Pillai Trace	1.0638	0.0001
Traza de Hotelling-Lawley / Hotelling-Lawley Trace	2.5260	0.0001
Raíz mayor de Roy / Roy's greatest root	1.9608	0.0001

CUADRO 3. Tasa de crecimiento acumulado en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* en un periodo de 624 días en Dzan, Yucatán.

TABLE 3. Cumulative growth rate in diameter of *Caesalpinia gaumeri* in a period of 624 days in Dzan, Yucatan.

Clasificación / Classification	N	Crecimiento acumulado (cm) /Cumulative growth (cm)			Tasa de crecimiento anual /Annual growth rate	
		Mínimo / Minimum	Máximo / Maximum	Promedio / Average		
Categoría de diámetro / Diameter category	CD I / DC I	8	0.17	2.10	0.81	0.41
	CD II / DC II	8	0.75	1.73	1.35	0.68
	CD III / DC III	8	0.92	2.40	1.53	0.76
	DC IV	8	1.20	2.33	1.70	0.85
	Promedio / Average		0.76	2.14		0.68
Calidad de copa / Crown quality	Q1	2	0.17	0.75	0.46	0.23
	Q2	15	0.28	2.10	1.12	0.56
	Q3	15	1.10	2.40	1.70	0.85
	Promedio / Average		0.52	1.75		0.55
Incidencia de luz solar / Incidence of sunlight	L2	17	0.17	2.10	1.05	0.53
	L3	15	0.92	2.40	1.68	0.84
	Promedio / Average		0.54	2.25		0.69

N = Number of individuals

N = Número de individuos

& Nilsson, 2001). Este comportamiento ha sido observado también en *C. gaumeri* (Interián-Ku et al., 2009). Manzanero y Pinelo (2004) mencionan que *C. gaumeri* puede ser clasificada una heliófila (intolerante a la sombra), como lo es *C. velutina* (Britton & Rose) Standley. Los resultados obtenidos para *C. gaumeri* en este estudio confirman que los árboles que pertenecen a categorías de diámetro mayores, con mejor calidad de copa y con plena luz solar crecieron más en diámetro en comparación con aquellos de categorías menores, con calidad de copa más baja e incidencia parcial de luz solar. Esto sugiere que aplicar poda en las copas en rodales naturales puede favorecer el crecimiento en altura durante las etapas tempranas de *C. gaumeri*, ya que esta especie puede ser clasificada como heliófila, (Manzanero & Pinelo, 2004).

Vester y Navarro (2007) reportan una tasa anual de crecimiento en diámetro de 0.13 a 0.21 para *C. mollis* (Kunth) Spreng en Quintana Roo y Campeche, y Uslar et al. (2003) reportan 0.30 cm para *C. pluviosa* D. C. en Bolivia, lo que es similar a la tasa anual obtenida en este estudio para árboles de *C. gaumeri* (0.23 cm) con calidad de copa asimétrica y dañada. Por otra parte, se ha reportado que los árboles de *Lysiloma latisiliquum* (Fabaceae), ubicados en rodales naturales en los municipios de Othón P. Blanco, Quintana Roo (García & Rodríguez, 1993) y Escárcega, Campeche, México (López-Torres & Tamarit-Urias, 2005), tienen una tasa de crecimiento anual de 1.10 y 0.51 cm, respectivamente. Esto difiere con lo encontrado para *C. gaumeri* (0.55-0.69 cm) en Yucatán, debido posiblemente a diferencias en las características de suelo y clima de los lugares donde crecen, así como su variación genética.

Las curvas ajustadas de crecimiento acumulado en diámetro de *C. gaumeri* (Figura 4) para cada categoría de diámetro (CD1-CD4), calidades de copa e incidencia de luz solar sobre la copa, incrementaron durante las dos temporadas de lluvias y decrecieron en las temporadas secas, y son sigmoideas. Estos resultados están respaldados por el análisis de correlación (Cuadro 4) y el análisis de varianza multivariante (Cuadro 2); sin embargo, no se encontró correlación entre crecimiento en diámetro y temperatura y humedad relativa. El Cuadro 5 muestra que el crecimiento acumulado en diámetro es mayor (0.56-0.75 cm·año⁻¹) durante las temporadas de lluvias que en las temporadas secas (0-0.03 cm·año⁻¹). También es importante señalar que durante la primera temporada seca (noviembre y febrero) hubo más precipitación de lo normal (263 mm) y en el mismo periodo en la segunda temporada seca, la precipitación fue de sólo 50 mm; fue un año atípico, ya que la precipitación normal durante este periodo es menor de 160 mm.

Se ha observado que el crecimiento en diámetro del fuste en especies tropicales como *Burkea africana* Hook. (Caesalpiniaceae) en Namibia (Fichtler, Trouet, Beeckman, Coppin, & Worbes, 2004), y *C. elaeagnoides* D. C. en Colima, México (López-Ayala et al., 2006) es sensible a la precipi-

for *C. gaumeri* trees (0.23 cm) with asymmetric and damaged crown quality. Trees of *L. latisiliquum* (Fabaceae), located in natural stands in the municipalities of Othón P. Blanco, Quintana Roo (García & Rodríguez, 1993) and Escárcega, Campeche, Mexico (López-Torres & Tamarit-Urias, 2005), have an annual growth rate of 1.10 cm and 0.51 cm, respectively. This differs from the findings for *C. gaumeri* (0.55-0.69 cm) in Yucatán, possibly due to differences in soil and climate characteristics of the sites where they grow, as well as their genetic variation.

The adjusted curves of cumulative growth in diameter of *C. gaumeri* (Figure 4) for each diameter category (DC1-DC4), crown qualities and incidence of sunlight on the crown, increased during the two rainy seasons and decreased in dry seasons and are sigmoid. These results are supported by the correlation analysis (Table 4) and the multivariate analysis of variance (Table 2). However, we did not find correlation between diameter growth with temperature and relative humidity. Table 5 shows that the cumulative growth in diameter is greater (0.56-0.75 cm·year⁻¹) during the rainy seasons than in the dry seasons (0-0.03 cm). It is also important to point out that during the first dry season there was more precipitation than normal from November to February (263 mm) and in the same period in the second dry season, the precipitation was only 50 mm. It was an atypical year, since normal precipitation during this period is below 160 mm.

It has been observed that trunk diameter growth in tropical species like *Burkea africana* Hook. (Caesalpiniaceae) in Namibia, Africa (Fichtler, Trouet, Beeckman, Coppin, & Worbes, 2004), and *C. elaeagnoides* D. C. in Colima, Mexico (López-Ayala et al., 2006), is sensitive to precipitation, since it is positively correlated with this trait, a behavior that coincides with *C. gaumeri*. This latter species grows more in diameter during the rainy seasons of the year (0.56-0.75 cm·year⁻¹) than in dry seasons (0-0.03 cm·year⁻¹). The heaviest precipitation recorded in the first dry season (263 mm) did not affect the diameter growth, and this indicated that *C. gaumeri* is adapted (genetically fixed) to increase in diameter only in rainy seasons. A possible explanation for this phenomenon is the lack of relative humidity during the dry season which causes low water availability in the soil and higher plant transpiration, creating a water deficit on the stem with the resulting loss in swelling of the vascular cambium cells, phloem and xylem parenchyma, and insufficient mineralization of nitrogen in the soil, an essential element for plant survival (Baker, Affum-Baffoe, Burslem, & Swaine, 2002; Reich, 1995; Wright, 1991). A study on the anatomical and physical properties of the wood in *C. gaumeri*, conducted by Interián-Ku et al. (2011), indicated that rays were extremely low, thin and abundant; fibers with thick to very thick cell walls, presence of gums; crosswise and rhomboidal crystals and a heavy density, characteristics determined by the environment constraints prevalent in this region (5-6 months without precipitation). Forest management practices for *C. gaumeri*, based on the

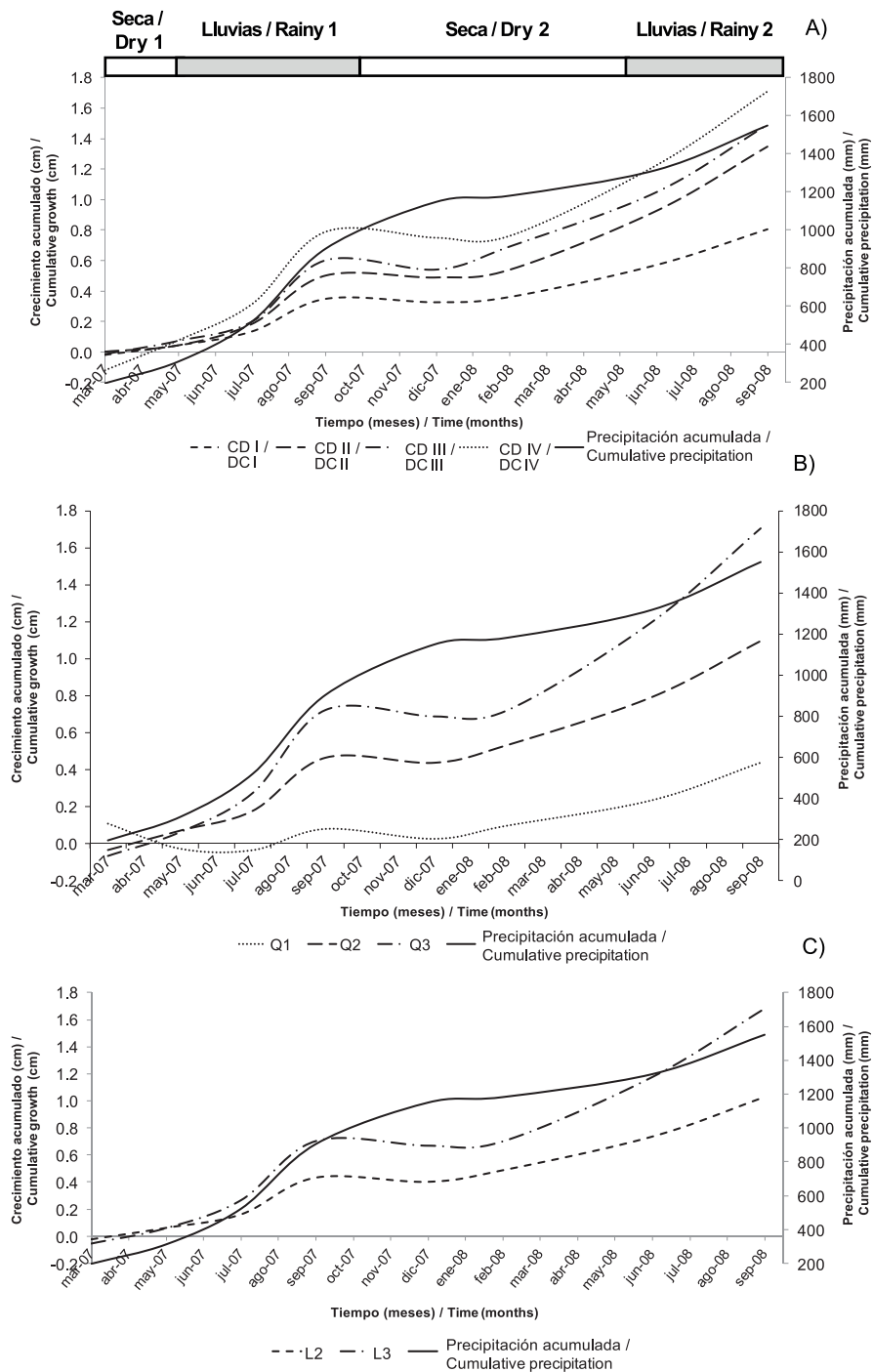


FIGURA 4. Curvas ajustadas de la tasa de crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* por categoría de diámetro (A), calidad de copa (B) e incidencia de luz solar sobre la copa (C), y su relación con la precipitación en Dzan, Yucatán.

Lluvias 1 = mayo-octubre, 2007 (809 mm); Lluvias 2 = mayo-septiembre, 2008 (262 mm); Seca 1 = noviembre 2006-abril 2007 (269 mm); Seca 2 = noviembre 2007-abril 2008 (92 mm). CD: Categoría de diámetro (CD I = 2.5-7.49 cm, CD II = 7.5-12.49 cm, CD III = 12.5-17.49 cm, CD IV = 17.5-22.49 cm). Q: Calidad de copa (Q1 = dañada, Q2 = asimétrica, Q3 = simétrica). L: Incidencia de luz solar sobre la copa (L2 = parcial, L3 = plena).

FIGURE 4. Adjusted cumulative diameter growth rate curves of *Caesalpinia gaumeri* by diameter category (A), crown quality (B) and incidence of sunlight on the crown (C), and its relationship with precipitation in Dzan, Yucatan.

Rainy 1 = May-October, 2007 (809 mm); Rainy 2 = May-September, 2008 (262 mm); Dry 1 = November 2006-April 2007 (269 mm); Dry 2 = November 2007-April 2008 (92 mm). DC: Diameter category (DC I = 2.5-7.49 cm, DC II = 7.5-12.49 cm, DC III = 12.5-17.49 cm, DC IV = 17.5-22.49 cm). Q: Crown quality (Q1 = damaged, Q2 = asymmetrical, Q3 = symmetrical). L: Incidence of sunlight on the crown (L2 = partial, L3 = total).

CUADRO 4. Valores de correlación entre la precipitación acumulada (mm) y la tasa de crecimiento acumulado de diámetro (cm) de *Caesalpinia gaumeri* por categoría de diámetro (CD), calidad de copa (Q) e incidencia de luz solar sobre la copa (L).

TABLE 4. Correlation values of accumulated precipitation with cumulative growth rate in diameter (cm) of *Caesalpinia gaumeri* by diameter category (DC), crown quality (Q) and incidence of sunlight on the crown (L).

CDI / DCI	CDII / DCII	CDIII / DCIII	CDIV / DCIV	Q1	Q2	Q3	L2	L3
0.9318***	0.9149**	0.9331***	0.9379***	0.7750*	0.9397***	0.9303***	0.9372***	0.9274***

*** $P \leq 0.001$; ** $P \leq 0.01$; * $P \leq 0.05$

CUADRO 5. Tasa de crecimiento acumulado promedio en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* entre las temporadas secas y lluviosas.

TABLE 5. Average cumulative growth rate in diameter of *Caesalpinia gaumeri* between dry and rainy seasons.

Temporada / Season	Days / Días	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{pr} / T _{av} (°C)	H _{pr} / H _{av} (%)	P _{min} (mm)	P _{total} (mm)	N	Crecimiento promedio (cm) / Average growth (cm)
Lluvias 1 / Rainy 1	184	24	33	29	65	56	809	32	0.562
Lluvias 2 / Rainy 2	132	24	35	29	65	15	262	32	0.749
Seca 1 / Dry 1	179	21	30	25	65	0	269*	32	0.000
Seca 2 / Dry 2	182	20	30	25	64	0	92	32	0.034

Lluvias 1= Mayo-Octubre, 2007; Lluvias 2 = Mayo-Septiembre, 2008; Seca 1 = Noviembre 2006-Abril 2007; Seca 2 = Noviembre 2007-Abril 2008.

N: Total de individuos; T_{min}, T_{max} y T_{pr}: Temperaturas mínimas, máximas y promedio, respectivamente; H_{pr}: Humedad relativa promedio; P_{min}: Precipitación mínima; P_{total}: Precipitación total. *Año atípico, debido a que desde noviembre de 2006 hasta febrero de 2007 la precipitación registrada fue 263 mm, normalmente la precipitación en este periodo es menor.

Rainy 1= May-October, 2007; Rainy 2 = May-September, 2008; Dry 1 = November 2006-April 2007; Dry 2 = November 2007-April 2008.

N: Individual total; T_{min}, T_{max} y T_{av}: Minimum, maximum and average temperatures, respectively; H_{av}: Average relative humidity; P_{min}: Minimum precipitation; P_{total}: Total precipitation. *Atypical year, because from November 2006 to February 2007 the precipitation recorded was 263 mm, normally in this period the precipitation is minor.

tación, ya que está relacionada positivamente con este rasgo, un comportamiento que coincide con *C. gaumeri*. Esta especie crece más en diámetro durante las temporadas de lluvias (0.56-0.75 cm-año⁻¹) que en las temporadas secas (0-0.03 cm-año⁻¹). La precipitación más copiosa registrada en la primera temporada seca (263 mm) no afectó el crecimiento en diámetro, lo cual indica que *C. gaumeri* está adaptada (genéticamente) para incrementar en diámetro sólo en temporada de lluvias. Una posible explicación para este fenómeno es la falta de humedad durante la temporada seca, lo que causa baja disponibilidad de agua en el suelo y una alta transpiración de las plantas. Esto crea un déficit hídrico en el tallo con la consecuente pérdida de turgencia de las células del cambium vascular y parénquima del floema y del xilema, y mineralización insuficiente del nitrógeno en el suelo, un elemento esencial para la supervivencia de las plantas (Baker, Affum-Baffoe, Burslem, & Swaine, 2002; Reich, 1995; Wright, 1991). Un estudio sobre las propiedades anatómicas y físicas de la madera en *C. gaumeri*, con-

results of this study suggest that plantations for enrichment should be implemented during the greater growth rate (rainy season) and pruning for crown liberation and wood harvesting should be done during the dry season.

Mayan collectors require a good diameter of *C. gaumeri* to meet their needs: beam (15-20 cm), post (10-15 cm), carbon and firewood (7-10 cm), and the time required to obtain those diameters in this species is variable (10-37 years) according the DC, Q and L traits (Table 6).

Trees with better features, namely the largest DC, symmetrical and total incidence of sunlight on the crown, require a shorter turnover time (8-24 years) to reach the ideal diameter for harvest, as compared with the low quality characteristics (smallest DC, damaged and with partial incidence of sunlight on the crown) which require a longer turnover period (17 to 87 years) for harvest. It is important to mention that the ideal time for uncultivated land (fallow period) in Yucatán is 20

ducido por Interián-Ku et al. (2011), indicó que los rayos fueron extremadamente bajos, finos y abundantes; fibras con paredes celulares de gruesas a muy gruesas, presencia de gomas; hilo entrecruzado y cristales romboidales, y una densidad pesada, características determinadas por las restricciones ambientales prevalentes en Dzan, Yucatán (5-6 meses sin precipitación).

Las prácticas de manejo de *C. gaumeri*, con base en los resultados de este estudio, sugieren que las plantaciones para enriquecimiento deberían implementarse durante la tasa de crecimiento más alta (temporada de lluvias) y la poda para liberación de la copa y la extracción de madera deberían ser realizadas durante la estación seca.

Los recolectores mayas requieren un buen diámetro en *C. gaumeri* para satisfacer sus necesidades: viga (15-20 cm), poste (10-15 cm), carbón y leña (7-10 cm), y el tiempo requerido para obtener esos diámetros en esta especie es variable (10-37 años) de acuerdo con los rasgos de CD, Q y L (Cuadro 6).

years (García, Mizrahi, & Bautista, 2005), a period that in the case of the species in this study would be enough to obtain posts for fences, carbon and firewood, and only in exceptional occasions beams for rural house construction. However, it has been reported (García et al., 2005; Hagggar, Uribe, Basulto, & Ayala, 2000) that farmers have been using areas with fallow periods from three to nine years for basic grain production, which would limit the use of *C. gaumeri* to carbon and firewood, and would also place this species at a disadvantage since the necessary time for its greatest diameter growth is more than 20 years. The classification of trees evaluated by diameter, crown quality and incidence of sunlight on the crown, the models and growth rates, as well as the important correlation of growth in diameter in *C. gaumeri* with precipitation found in this study, provide important information regarding the influence of some environmental factors and the turnover period required to obtain wood products of interest for the Mayan people. However, a scientific evaluation of forest management practices and their implementation, according to the production system characteristic of the re-

CUADRO 6. Tiempo requerido para alcanzar el diámetro por producto de *Caesalpinia gaumeri* en Dzan, Yucatán.
TABLE 6. Time required (years) to reach the diameter per product of *Caesalpinia gaumeri* in Dzan, Yucatán.

Clasificación / Classification		Tasa anual (cm) / Annual rate (cm)	Tiempo requerido (años) / Time required (years)		
			Viga 15-20 cm* / Beam 15-20 cm*	Poste 10-15 cm* / Post 10-15 cm*	Carbón, leña 7-10 cm* / Charcoal, firewood 7-10 cm*
Categoría de diámetro / Diameter category	CD I / DC I	0.41	37-49	24-37	17-24
	CD II / DC II	0.68	22-29	15-22	10-15
	CD III / DC III	0.76	20-26	13-20	9-13
	CD IV / DC IV	0.85	18-24	12-18	8-12
	Promedio / Average	0.68	22-30	15-22	10-15
Calidad de copa / Crown quality	Q1	0.23	65-87	43-65	30-43
	Q2	0.56	27-36	18-27	13-18
	Q3	0.85	18-24	12-18	8-12
	Promedio / Average	0.55	27-37	18-27	13-18
Incidencia de luz solar / Incidence of sunlight	L2	0.53	28-38	19-28	13-19
	L3	0.84	18-24	12-18	8-12
	Promedio / Average	0.69	22-29	15-22	10-15

*Diámetro requerido para el producto de interés, establecido mediante observación directa en Dzan, Yucatán.

*Diameter required for the product of interest, established through direct observation in Dzan, Yucatán.

Los árboles con mejores características (mayor CD, simétricos e incidencia de luz solar plena sobre la copa) requieren turnos de corta más breves (8-24 años) para alcanzar el diámetro ideal para la cosecha, en comparación con las características de baja calidad (la CD más baja, copa dañada y con incidencia parcial de luz solar) que requieren turnos de corta más largos (17 a 87 años) para la cosecha. Es importante señalar que el tiempo ideal para la tierra sin cultivar (periodo de barbecho) en Yucatán es de 20 años (García, Mizrahi, & Bautista, 2005), un periodo suficiente para obtener postes, carbón, leña y, sólo en ocasiones excepcionales, vigas. Sin embargo, se ha reportado que los productores están utilizando superficies con periodos de barbecho de tres a nueve años para la producción de granos básicos (García et al., 2005; Hagggar, Uribe, Basulto, & Ayala, 2000). Esto limitaría el uso de *C. gaumeri* para carbón y leña; además, la especie quedaría en desventaja, ya que el tiempo necesario para su mayor crecimiento en diámetro es de más de 20 años. La clasificación de árboles evaluados por diámetro, calidad de copa e incidencia de luz solar sobre la copa, los modelos y las tasas de crecimiento, así como la importante correlación encontrada en este estudio entre el crecimiento en diámetro de *C. gaumeri* y la precipitación, proveen información importante respecto a la influencia de algunos factores ambientales y el turno requerido para obtener productos maderables del interés para las personas mayas. Sin embargo, una evaluación científica de las prácticas de manejo y de su implementación, de acuerdo con el sistema de producción característico de la región y las condiciones naturales de los bosques caducifolios en Yucatán, es necesaria para alcanzar el uso sustentable de *C. gaumeri*.

CONCLUSIONES

Una clara diferenciación de la tasa de crecimiento acumulada en diámetro durante el periodo de medición entre las categorías de diámetro no es perceptible; sin embargo, hubo diferencia entre la calidad de la copa, la incidencia de luz solar sobre la copa, y entre las estaciones secas y lluviosas. El crecimiento acumulado en diámetro fue más grande en las categorías de diámetro de 12.5 a 22.5 cm, en comparación con la de 2.5 a 7.5 cm, en los árboles con calidad de copa simétrica en comparación con la dañada, árboles con incidencia de luz solar plena con respecto a la incidencia parcial, y en la temporada de lluvias (0.56 a 0.75 cm·año⁻¹) en comparación con la temporada seca (0.00-0.03 cm·año⁻¹). La tasa de crecimiento en diámetro es altamente significativa ($P < 0.001$) y positivamente correlacionada ($r = 0.93-0.94$) con la precipitación en el área de estudio, por lo tanto, se ve influida por las temporadas secas y lluviosas. Las tasas de crecimiento anual en diámetro variaron de 0.41-0.85 cm en las categorías de diámetro, de 0.23 a 0.85 cm en las calidades de copa, y de 0.53 a 0.84 cm en la incidencia de luz solar sobre la copa. Por lo anterior, las prácticas forestales deben dirigirse hacia la combinación de diámetro y calidad de copa de *C. gaumeri*, así como concentrar esfuerzos para aumentar el periodo de barbecho, con el fin de que la especie tenga la oportunidad de crecer en diámetro.

gion and the natural conditions of the tropical deciduous forest in Yucatán, is needed to achieve a sustainable use of this species.

CONCLUSIONS

A clear differentiation of cumulative growth rate in diameter during the measuring period between diameter categories is not noticeable; however, there was a differentiation in crown quality, incidence of sunlight on the crown, and between the dry and rainy seasons. The cumulative growth in diameter was bigger for the diameter categories of 12.5 to 22.5 cm as compared to that of 2.5 to 7.5 cm, for the symmetrical crown quality as compared with the damaged one, for total incidence of sunlight regarding partial incidence, and for the rainy season (0.56-0.75 cm·year⁻¹), compared with the dry season (0.00-0.03 cm·year⁻¹). Diameter growth rate is highly significant ($P < 0.001$) and positively correlated ($r = 0.93-0.94$) with precipitation in the study area; therefore, it is influenced by the dry and rainy seasons. The annual growth rates in diameter varied from 0.41 to 0.85 cm in diameter categories, from 0.23 to 0.85 cm in crown qualities, and from 0.53 to 0.84 cm in incidences of sunlight on the crown. Therefore, forestry practices should be directed towards combining diameter and crown quality in *C. gaumeri*, as well as focussing efforts on increasing the fallow period, in order to provide the species with the opportunity to grow in diameter.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Mexico's National Science and Technology Council (CONACYT) for awarding a doctoral scholarship (169577) and Esmeralda Cázarez Sánchez for reviewing this document.

AGRADECIMIENTOS

A la beca para estudios doctorales (169577) del CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) así como a Esmeralda Cázares Sánchez por la revisión de este documento.

REFERENCIAS

- Baker, T. R., Affum-Baffoe, K., Burslem, D. F. R. P., & Swaine, M. D. (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. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00787-3
- Cattellino, P. J., Becher, C. A., & Fuller, L. G. (1986). Construction and installation of homemade dendrometer bands. *Northern Journal of Applied Forest*, 3, 73–75.
- Chauchard, L., & Sbrancia, R. (2003). Modelos de crecimiento diamétrico para *Nothofagus obliqua*. *Bosque*, 24, 3–16. Obtenido de <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v24n3/Art01.pdf>
- Corral, R., & Navar, C. J. J. (2005). Análisis del crecimiento e incremento de 5 Pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques*, 11, 29–47. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/617/61711103.pdf>
- Da Silva, R. P., Dos Santos, J., Siza T. E., Chambers, J. Q., Nakamura, S., & Higuchi, N. (2002). Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166, 295–311. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00678-8
- Dawkins, H. C. (1958). *The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda*. Oxford: Imperial Forestry Institute.
- Duch, G. J. (1994). Los suelos, la agricultura y vegetación en Yucatán. In X. Hernández, E. Bello, & S. Levy (Eds.), *La milpa en Yucatán: Un sistema de producción agrícola tradicional* (pp. 97–107). México: Colegio de Postgraduados.
- Fichtler, E., Trouet, V., Beeckman, H., Coppin, P., & Worbes, M. (2004). Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. *Trees*, 18, 442–451. doi: 10.1007/s00468-004-0324-0
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México: UNAM.
- García, J., Mizrahi, A., & Bautista, F. (2005). Manejo campesino de la selva baja y selección de especies arbóreas para barbechos mejorados en Hocobá, Yucatán. In F. Bautista, & G. Palacio (Eds.), *Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales* (pp. 195–208). México: Universidad Autónoma de Campeche-Universidad Autónoma de Yucatán. Obtenido de <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/462/manejo.pdf>
- García, C. X., & Rodríguez, S. B. (1993). Cortas intermedias en sitios de vegetación secundaria. *Ciencia Forestal Mexicana*, 18, 81–100. Obtenido de <http://revistas.inifap.gob.mx/index.php/Forestales/article/view/1203>
- Haggar, J. P., Uribe, G., Basulto, G. J., & Ayala, A. (2000). Barbechos mejorados en la Península de Yucatán, México. *Revista Agroforestería de América*, 7(27). Consultado 13/09/2012 en <http://web.catie.ac.cr/informacion/rafa/>
- Harold, W., & Hocker, Jr. (1984). *Introducción a la biología forestal (1ra ed.)*. México: ACT Editor S.A.
- Hernández, L., & Castellanos, H. (2006). Crecimiento diamétrico arbóreo en bosques de Sierra de Lema, Guayana Venezolana: Primeras evaluaciones. *Interciencia*, 31(11), 779–786. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33912205>
- Ibarra-Manríquez, G., Villaseñor, J. L., & Durán, G. R. (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.
- Interián-Ku, V. M., Borja de la Rosa, M. A., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., & Vaquera-Huerta, H. (2011). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán. *Madera y Bosques*, 17, 23–36. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61721586002>
- Interián-Ku, V. M., Valdez-Hernández, J. I., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., Borja-de-la-Rosa, M. A., & Vaquera-Huerta, H. (2009). Arquitectura y morfometría de dos especies arbóreas en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 85, 17–29. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsbm/n85/n85a3.pdf>
- Keeland, B. D., & Sharitz, R. R. (1993). Accuracy of tree growth measurements using dendrometer bands. *Canadian Journal of Forests Research*, 23, 2454–2457. doi: 10.1139/x93-304
- Kozlowski, T. T., Winget, C. H., & Torrie, T. (1962). Daily radial growth of oak in relation to maximum and minimum temperature. *Botanical Gazette*, 124, 9–17. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/2473449>
- Levy, T. S., & Hernández, X. E. (1994). Aprovechamiento forestal tradicional de los hubches en Yucatán. In X. E. Hernández, E. Bello, & S. Levy. (Eds.), *La milpa en Yucatán: Un sistema de producción agrícola tradicional* (pp. 247–270). México: Colegio de Postgraduados.
- Liming, F. G. (1957). Homemade dendrometers. *Journal of Forests*, 55, 575–577.
- López-Ayala, J. L., Valdez-Hernández, J. I., Terrazas, T., & Valdez-Lazalde, J. R. (2006). Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia*, 40(1), 139–147. Obtenido de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2006/ene-feb/ene-feb-06.html>
- López-Torres, J. L., & Tamarit-Urias, J. C. (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 Ambiente*, 11, 117–123. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62911207>
- Louman, B., Quirós, D., & Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Costa Rica: CATIE.
- Manzanero, M., & Pinelo, G. (2004). *Plan silvicultural en unidades de manejo forestal: Reserva de la Biósfera Petén, Maya, Guatemala*. Guatemala: WWF Centroamérica.

- Manzano-Méndez, F., Valdez-Hernández, J. I., López-López, M. A., & Vaquera-Huerta, H. (2010). Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 16(2), 19–33. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v16n2/v16n2a2.pdf>
- Palmer, J., & Ogden, J. (1983). A dendrometer band study of the seasonal pattern of radial increment in kauri (*Agathis australis*). *New Zealand Journal of Botany*, 21, 121–126.
- Reich, P. B. (1995). Phenology of tropical forests: Patterns, causes and consequences. *Canadian Journal of Botany*, 73, 164–174.
- Ricker, M., & Del Río, R. (2004). Projecting diameter growth in tropical trees: A new modeling approach. *Forest Science*, 50, 213–224.
- Roig, F. A., Jiménez, O. J., Villanueva D. J., Luckman, B., Tiessen, H., Medina, A., & Noellemeyer, E. J. (2005). Anatomy of growth rings at the Yucatan Peninsula. *Dendrochronologia*, 22, 187–193. doi:10.1016/j.dendro.2005.05.007
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.) (1999). *User's guide, version 8.0 for windows*. Cary, NC: Autor.
- Toledo, V. M., Barrera-Bassols, N., García-Frapolli, E., & Alarcón-Chaires, P. (2008). Uso múltiple y biodiversidad entre los Mayas Yucatecos (México). *Interciencia*, 33, 345–352. Obtenido de <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n5/art07.pdf>
- Uslar, Y. V., Mostacedo, B., & Saldías, M. (2003). *Composición, estructura y dinámica de un bosque seco semideciduo en Santa Cruz, Bolivia*. Bolivia: Chenomics International Inc.
- Vester, H. F.M., & Navarro, M. A. (2007). *Fichas ecológicas, árboles maderables de Quintana Roo (1a ed.)*. Quintana Roo, México: ECOSUR. Obtenido de: http://www.academia.edu/1861273/Fichas_Ecologicas_arboles_maderables_de_Quintana_Roo
- White, D. A., & Hood, C. S. (2004). Vegetation patterns and environmental gradients in tropical dry forests of the northern Yucatán Peninsula. *Journal Vegetation Science*, 15, 151–160. doi: 10.1111/j.1654-1103.2004.tb02250.x
- Worbes, M. (1995). How to measure growth dynamics in tropical trees: A review. *IAWA Journal*, 16, 337–351. Obtenido de http://www.iawa-website.org/IAWA%20J%20pdf%27s/16.no.1-4.1995/16.4.337_351.pdf
- Wright, S. J. (1991). Seasonal drought and the phenology of understory shrubs in a tropical moist forest. *Ecology*, 72, 1643–657. doi:10.2307/1940964