

# CRECIMIENTO INICIAL DE ESPECIES ARBÓREAS MULTIPROPÓSITO EN UN TERRENO GANADERO DEL NORTE DE VERACRUZ

## INITIAL GROWTH OF MULTI-PURPOSE FOREST SPECIES IN A LIVESTOCK LAND AT THE NORTH OF VERACRUZ

Flor María Montero Solís<sup>1</sup>, Juan Ignacio Valdez Hernández<sup>1</sup>,  
Héctor Manuel De Los Santos Posadas<sup>1</sup>, Víctor Manuel Cetina Alcalá<sup>1</sup> y  
Lázaro Rafael Sánchez Velásquez<sup>2</sup>

### RESUMEN

Se evaluó el crecimiento inicial en altura y diámetro de siete especies arbóreas multipropósito en un terreno ganadero del municipio de Tihuatlán, Veracruz; se usaron tres diseños de plantación con una proporción 6:3:1 y un arreglo en "tres bolillo", con una distancia de 3 m entre columnas y de 1.5 m para las líneas con el propósito de obtener una cobertura superior de las especies a estudiar. El crecimiento en altura mediante el modelo de covarianza fue significativamente ( $p < 0.0001$ ) mayor que el crecimiento en diámetro para todas las especies y durante el tiempo de medición (330 días). Las tres que presentaron la tasa más alta de crecimiento promedio en altura fueron *Cordia dodecandra* ( $0.14 \text{ cm día}^{-1}$ ), *Tabebuia rosea* ( $0.073 \text{ cm día}^{-1}$ ) y *Guazuma ulmifolia* ( $0.027 \text{ cm día}^{-1}$ ), mientras que la mayor tasa de crecimiento promedio en diámetro fue para *C. dodecandra* y *T. rosea* ( $0.046 \text{ mm día}^{-1}$ ), *Cedrela odorata* ( $0.028 \text{ mm día}^{-1}$ ) y *G. ulmifolia* ( $0.023 \text{ mm día}^{-1}$ ). El efecto del daño por desecación (pérdida de la yema apical) sólo fue significativo ( $p > 0.05$ ) en la altura de *Brosimum alicastrum* ( $0.0024 \text{ cm día}^{-1}$ ,  $p < 0.0202$ ) y *T. rosea* ( $-0.051 \text{ cm día}^{-1}$ ,  $p < 0.0001$ ); sin embargo, estos dos taxa pudieron resistir condiciones ambientales adversas (ausencia de precipitación y altas temperaturas) en alguna etapa de su desarrollo inicial sin comprometer su crecimiento posterior. La supervivencia fue del 98.4%.

**Palabras clave:** Altura a la yema apical, daño por desecación, diámetro al cuello de la raíz, modelo de covarianza, plantación mixta, supervivencia.

### ABSTRACT

The initial growth in height and diameter was evaluated for seven multipurpose tree species in a livestock land of Tihuatlán, Veracruz, México, through three plantation designs with a proportion 6:3:1 and an arrangement "tres bolillo" with a distance of three meters between columns and 1.5 between lines to obtain a major covering of the species to investigate. The growth in height through the covariance model was significantly ( $p < 0.0001$ ) higher than the growth in diameter for all the species and during the time that were measured (330 days). The three species which had the higher growth rate in height were: *Cordia dodecandra* ( $0.14 \text{ cm day}^{-1}$ ), *Tabebuia rosea* ( $0.073 \text{ cm day}^{-1}$ ) and *Guazuma ulmifolia* ( $0.027 \text{ cm day}^{-1}$ ); whereas the higher growth rates in diameter were for: *C. dodecandra* y *T. rosea* ( $0.046 \text{ mm day}^{-1}$ ), *Cedrela odorata* ( $0.028 \text{ mm day}^{-1}$ ) and *G. ulmifolia* ( $0.023 \text{ mm día}^{-1}$ ). The effect of damage for withering (lost of the apical bud) only was significant ( $p < 0.05$ ) in height of *Brosimum alicastrum* ( $0.0024 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $p < 0.0202$ ) y *T. rosea* ( $-0.051 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $p < 0.0001$ ); however, in both species the damages could bear several atmospheric conditions (absence of precipitation and/or high temperatures) in some stage of their initial growth without to reach preventing their posterior growth. The survival was of 98.4 %.

**Key words:** Apical bud height, withering damage, root collar diameter, covariance model, mixed plantation, survival.

Fecha de recepción: 29 de junio de 2009.

Fecha de aceptación: 20 de enero de 2011.

<sup>1</sup> Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Correo-e: fmontero\_s@hotmail.com

<sup>2</sup> Laboratorio de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA), Universidad Veracruzana.

## INTRODUCCIÓN

La expansión de la ganadería extensiva en la región norte del estado de Veracruz ha eliminado grandes áreas con vegetación original de selva mediana subperennifolia (Miranda y Hernández, 1963; Pennington y Sarukhán, 1998) y han sido reemplazadas por pastizales introducidos que se utilizan para el apacentamiento del ganado, por lo que restan sólo pequeños manchones o remanentes de masas arbóreas de gran altura dispersos dentro de potreros, usados únicamente como sombra para los animales, postes, leña o alimento (ramoneo) para el hato en épocas de extrema sequía.

En este sentido, las plantaciones forestales pueden ayudar a obtener un ecosistema forestal parecido al original que se tenía antes de ser degradado (Cárdenas, 2003; Rodríguez, 2006), mediante el establecimiento de taxa multipropósito dispersos de acuerdo con algún modelo sistemático capaz de contribuir a mejorar la producción de los sistemas de uso de la tierra (Nair, 1997; Benítez *et al.*, 2004).

La inclusión del aprovechamiento de las especies nativas en plantaciones mixtas se ha convertido en una forma útil para enriquecer ecosistemas alterados (Montagnini, 1992). En varios países de América Latina se maneja la combinación de algunas de ellas en pasturas (Molina *et al.*, 2003; Montagnini *et al.*, 2003; Alice *et al.*, 2004), ya que presentan mayores alturas y diámetros que en un monocultivo (Piotto *et al.*, 2003; Piotto *et al.*, 2004; Shono and Snook, 2006; Piotto, 2007).

Sin embargo, todavía falta información acerca del crecimiento inicial de especies arbóreas en terrenos ganaderos, pues sólo se cuenta con recomendaciones para el trópico mexicano enfocadas a plantaciones comerciales de gran escala: *Swietenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L., *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC y *Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken (Musálem, 2001; Siemann y Rogers, 2003). Por lo general la etapa de inicio, con la cual se asegurará el éxito de una plantación, no se considera importante; además de otras serias limitantes como la escasez de humedad (Meinzer *et al.*, 2005), daños mecánicos (pérdida de ápices, ramas) o incluso la muerte de las plantas.

Por lo anterior, se evaluó la tasa de crecimiento inicial en altura y diámetro, y el efecto del daño por sequía para siete especies multipropósito en un terreno destinado a la ganadería extensiva en el norte de Veracruz, con la expectativa de obtener diferencias significativas para las tasas de crecimiento, así como para el efecto de daño dentro de cada taxón.

## INTRODUCTION

The extensive livestock expansion in the Northern region of Veracruz state has destroyed great areas with original vegetation of the medium subtropical forest (Miranda and Hernández, 1963; Pennington and Sarukhán, 1998) and have been replaced by exotic grasslands that are used to feed game, which has promoted the existence of only small patches or remaining tree masses of great height, dispersed in pasture grounds, used only as sunshades for cattle, as posts, firewood or browsing food

In this sense, forest plantations can help to design a forest ecosystem similar to the previous one before its degradation (Cárdenas, 2003; Rodríguez, 2006), through the establishment of multi-purpose taxa, dispersed according to a systematic model that can help to improve the productivity of land-use systems (Nair, 1997; Benítez *et al.*, 2004).

The inclusion of native species harvesting in mixed plantations has become a useful form to improve altered ecosystems (Montagnini, 1992). In several countries of Latin America, a combination of some of them has been managed in pasture lands (Molina *et al.*, 2003; Montagnini *et al.*, 2003; Alice *et al.*, 2004), since they get taller heights and broader diameters than monocultures (Piotto *et al.*, 2003; Piotto *et al.*, 2004; Shono and Snook, 2006; Piotto, 2007).

However, there is still missing some information about the initial growth of tree species growing in livestock pasture lands, since there are just recommendations for the Mexican tropic focused on great scale commercial plantations of *Swietenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L., *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC and *Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken (Musálem, 2001; Siemann and Rogers, 2003). In general, the initial stage, with which the success of the plantation is guaranteed, is not considered important, in addition to other crucial limitations such as the lack of water (Meinzer *et al.*, 2005), mechanical damages (apex and/or branch loss) or even the death of the plants.

In this regard, the rate of initial grown in height and diameter it was assessed, and the effect of drought damage in seven multi-purpose species in a land to be used as extensive livestock pasture in northern Veracruz, in order to find significant differences in growth rates, as well as in damage effects upon each taxon.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

Field work was carried out in a livestock pasture hillock of Enrique Rodríguez Cano community, municipality of Tihuatlan,

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El trabajo se realizó en un lomerío ganadero de la comunidad Enrique Rodríguez Cano (Zapotalillo), municipio de Tihuatlán, Veracruz; localizado a los 20° 39' 34.8" latitud norte y 97° 32' 39.5" longitud oeste (Figura 1), en la Llanura Costera del Golfo de México, a una altitud de 80 m y una vegetación de selva mediana subperennifolia (García, 1973; Miranda y Hernández, 1963; Pennington y Sarukhán, 1998). El suelo es de tipo vertisol, que se caracteriza por la presencia de grietas anchas en la época de sequía y la susceptibilidad a la erosión (Casanova *et al.*, 2001). El clima se clasifica como Aw<sub>1</sub> (e): cálido subhúmedo con lluvias en verano (junio-octubre) y temporada seca de cuatro a cinco meses (enero-mayo), con una temperatura media anual de 25 °C y precipitación media anual de 1,156 mm (García, 1973).

### Selección del material vegetal

Se consideraron los siguientes criterios para cada especie: a) más de un uso, por ejemplo ecológico, de reforestación o rehabilitación, forrajero, medicinal, apícola y artesanal u otros como sombra para cercos; b) representativa de la zona en estudio y c) de interés ecológico / socioeconómico. Las seleccionadas fueron: *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Brosimum alicastrum* Sw., *Cedrela odorata* L., *Cordia dodecandra* A. DC., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.

El material vegetal procedió de cuatro viveros del estado de Veracruz: Delegación Tuxpan de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Vivero Tarimoya del Puerto de Veracruz, Campus Veracruz y de San Luis Potosí, del Colegio de Postgraduados. Se eligieron cualitativa (coloración de hojas) y cuantitativamente (altura de la planta) por especie, con edades promedio de seis a 12 meses después de sembradas en bolsas de polietileno, bajo condiciones de vivero.

### Ubicación de parcelas y diseño de la plantación

Con la vegetación existente en el terreno ganadero, pasto del género *Paspalum*, se ubicaron tres parcelas de 18 x 18 m (324 m<sup>2</sup>), cada una con tres metros en la periferia para evitar efecto de borde y con una distancia entre parcelas de 30 m (área total = 972 m<sup>2</sup>).

Se tomó en cuenta tanto la estructura que ocupan en el medio físico (Pennington y Sarukhán, 1998; Godínez y López, 2002), como las notas de plantaciones agroforestales (Musálem *et al.*, 2006; Cárdenas, 2003; Villavicencio y Valdez, 2003; Benítez *et al.*, 2004), la distribución e interacción naturales

in the state of Veracruz; it is located at 20° 39' 34.8" North and 97° 32' 39.5" West (Figure 1), in the Coast Plains of Gulf of Mexico, at 80 m high and with a medium subtropical forest (García, 1973; Miranda and Hernández, 1963; Pennington and Sarukhán, 1998). Soil is of the vertisol type, and forms wide cracks during the drought season and is susceptible to erosion (Casanova *et al.*, 2001). The climate has been determined as Aw<sub>1</sub> (e), which is sub-humid warm with summer rains (from June to October), a dry season that lasts for four to five months (January to May), mean annual temperature of 25°C and 1,156 mm of mean annual rainfall (García, 1973).

### Plant material selection

The following criteria were considered for each species: a) more than one use, for example, ecological, reforestation or rehabilitation, forage, medicinal, handicraft, bee-related, for shading or fencing; b) representative of the study zone and c) of ecological and socio-economic value. The selected ones were the following: *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Brosimum alicastrum* Sw., *Cedrela odorata* L., *Cordia dodecandra* A. DC., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Swietenia macrophylla* King and *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.

The plant material came from four nurseries of Veracruz State: 1) National Forest Commission (CONAFOR) Delegation in Tuxpan; 2) Tarimoya nursery from Veracruz port; 3) Veracruz Campus and 4) San Luis Potosí Campus; the last two belong to Colegio de Postgraduados. It was selected from a qualitative (leaf color) and a quantitative (plant height) view point by species, with average age from 6 to 12 months after their sowing in plastic bags, under nursery conditions.

### Lot location and plantation design

In the livestock land, where the dominant vegetation is the *Paspalum* grass, three 18 x 18 m (324 m<sup>2</sup>) lots were established, each one of them at 3 m around to avoid the border effect and with a distance between lots of 30 m (total area = 972 m<sup>2</sup>).

The structure used in the physical environment (Pennington and Sarukhán, 1998; Godínez and López, 2002), as well as the notes about agro-forest plantations (Musálem *et al.*, 2006; Cárdenas, 2003; Villavicencio and Valdez, 2003; Benítez *et al.*, 2004), their distribution and natural interactions with other species, and their ecological, economic and social importance in the study area were considered. Three plantation models were established at a 6:3:1 proportion, in which the taxa with more types of use had the higher number of plants.

The resulting proportion consisted of six models: *B. alicastrum* (30 total plants for the three lots), *B. simaruba* (25, total)

con otras especies, además de su importancia ecológica, económica y social en la zona de estudio. Se establecieron tres modelos de plantación, con una proporción 6:3:1, los cuales consistieron en que los taxa con mayor número de usos tuvieron el número más grande de plantas. La proporción resultante fue de seis modelos: *B. alicastrum* (30 individuos en total por las tres parcelas), *B. simaruba* (25 en total) y *G. ulmifolia* (25 en total); para la de tres: *T. rosea* (19 en total) y *C. dodecandra* (10 en total); y con uno: *C. odorata* (7 en total) y *S. macrophylla* (7 en total).

De acuerdo con las propiedades físicas del terreno se siguió un arreglo en "tres bolillo" con una distancia de tres metros entre columnas y 1.5 para las líneas, de tal manera que se obtuvo una mayor cobertura de las especies a evaluar (Figura 2); según lo citado para plantaciones agroforestales y de restauración ecológica (Cárdenas, 2003; Rodríguez, 2006).

Se excavaron 85 cepas por parcela (255 en total) con "gafa" y barreta. Su tamaño fue de 23 x 27 cm, en ellas se colocaron los individuos de las siete especies incluidas en el estudio.

### Establecimiento de la plantación

Se realizó durante los días 24 y 25 de agosto de 2006. Los individuos fueron plantados con cepellón para protegerlos de una posible desecación. Al término de la plantación se hicieron deshierbes manuales con azadón y machete (cajeteado) alrededor de cada ejemplar, esta práctica se repitió cada dos meses para mantenerlos visibles y libres de competencia por malezas. En las esquinas de las parcelas se midieron y determinaron tres metros adicionales para evitar el efecto de borde (con estacas mayores a 1 m), posteriormente, se identificaron las plantas por registrar, y se cercó con alambre de púas para evitar la entrada temporal de ganado bovino.

### Registro de datos

La primera medición (medición base o cero) se efectuó al establecer la plantación (27 de agosto 2006) y las siguientes se hicieron a finales de mes, por once ocasiones (septiembre 2006 - julio 2007). Se consideró para el registro de los datos una superficie de 144 m<sup>2</sup> (12 x 12 m) donde se muestrearon 41 individuos (123 en total de las tres parcelas). Las variables fueron: a) altura total, tomada del cuello de la raíz a la yema apical, con ayuda de un flexómetro; b) diámetro al cuello de la raíz (donde coinciden la base de la planta y el suelo), para ello se empleó un vernier digital (marca Stainless Hardened) y c) supervivencia, por observación directa de los individuos.

and *G. ulmifolia* (25, total); for that of three: *T. rosea* (19, total) and *C. dodecandra* (10, total); and for that of one: *C. odorata* (7 en total) and *S. macrophylla* (7, total).

According to the physical properties of the ground, a trefoil configuration (zig-zag) with a 3 m distance between columns and 1.5 m for rows was used in such a way, that a broader cover of the species to be assessed was obtained (Figure 2), according to what has been cited for agro-forest and ecological-restoration plantations (Cárdenas, 2003; Rodríguez, 2006).

Eighty-five 23 x 27 cm pits by lot were excavated (255 total number) with a hook and an iron bar, and in each of them were put the individual plants of the seven species included in the study.

### Establishment of the plantation

The plantation was established during August 24<sup>th</sup> and 25<sup>th</sup>. The trees were planted with ground-root in order to protect them against a possible dehydration. When the plantation was finished, manual weeding was made with hoe and machete (*cajeteado*) around each individual, a task that was repeated every two months to keep them visible and free of competing weeds. It was determined that 3 m must be added around each plot measured from each corner to avoid the border effect (stakes > 1 m); later, the plants that were recorded were taxonomically identified and the experimental area was protected with barbed-wire in order to avoid the temporary entrance of bovine cattle.

### Data record

The first measurement (basic measurement or zero) was made right after the plantation was established (August 27<sup>th</sup>) and the following were made at the end of each month for eleven times (September 2006-July 2007). For the registration of data an area of 144 m<sup>2</sup> (12 x 12 m) were considered, where 41 individuals (a total of 123 for the three lots). The variables that were taken were: a) total height, from the root collar to the apical bud, with a flexometer; b) root collar diameter (where the plant and the soil meet), with the aid of a digital vernier caliper (Stainless Hardened), and c) survival, by direct observation of the samples.

### Data analysis

According to the simple linear regression model (Infante and Zárate, 2005) to explain the relation of total height and diameter, the covariance analysis was used (SAS, 2003), which combines quantitative (height and diameter) and qualitative (individuals with and without harm) variables. Indicator variables were managed as they record values equal to 1 when the species is

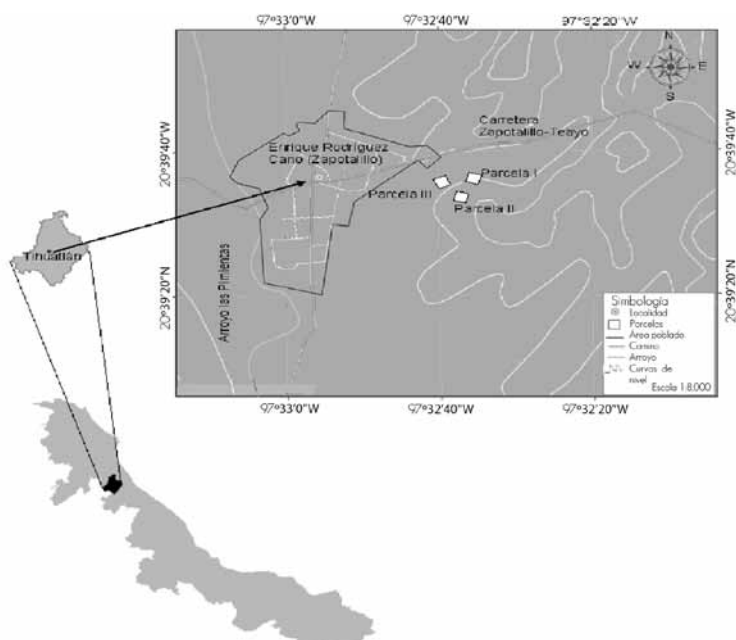


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio Enrique Rodríguez Cano, municipio de Tihuatlán, Veracruz.  
 Figure 1. Geographic location of the Enrique Rodríguez Cano study area in Tihuatlán municipality, Veracruz State.

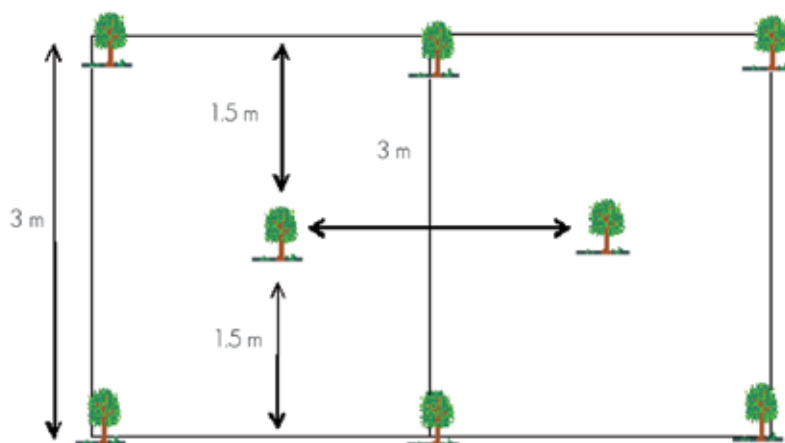


Figura 2. Ejemplo de la distribución de las especies en parcelas.  
 Figure 2. Scheme of the distribution of the species by lots.

### Análisis de datos

De acuerdo al modelo de regresión lineal simple (Infante y Zárate, 2005) para explicar la relación de las variables altura total y diámetro se recurrió al análisis de covarianza (SAS, 2003), el cual combina variables cuantitativas (altura y diámetro) y cualitativas (individuos con y sin daño). Se emplearon variables indicadoras que toman valores de 1, si la especie está presente

present and of 0 for any other tree taxon, and *Tabebuia rosea* as the reference to compare the average increments of the taxa. The samples that had uninterrupted growth during some time (month) were included as well as those which showed injuries due to environmental conditions (drought). Only the average growth rates of the damaged species were considered in the model: *Bursera simaruba*, *Brosimum alicastrum*, *G. ulmifolia* and the reference, *T. rosea*.

y 0 para cualquier otro taxón arbóreo, y a *Tabebuia rosea* como la de referencia para realizar comparaciones de los incrementos promedio entre los taxa. Se incorporaron los individuos que tuvieron crecimientos sin interrupción en algún tiempo (mes) y aquéllos que mostraron daños por las condiciones ambientales (sequía). En el modelo sólo se consideraron las tasas de crecimiento promedio de las especies dañadas: *Bursera simaruba*, *Brosimum alicastrum*, *G. ulmifolia* y la de referencia, *T. rosea*.

El modelo general sugerido y aplicado tanto para altura como diámetro fue:

$$Y = (\beta_0 + \beta_{OD} + I_D + \beta_{Ok} I_k) + (\beta_1 + \beta_{1k} I_k + \beta_{1D} I_D + \beta_{1kD} I_k I_D) xT + e_i \quad (1)$$

Donde:

- $\beta_0$  = tamaño inicial promedio de la especie base *T. rosea* (intercepto)
- $\beta_{Ok} I_k$  = adicionalidades al tamaño inicial promedio de la especie de referencia, que representan la condición inicial de la k-ésima especie que puede ser *B. alicastrum*, *B. simaruba*, *C. odorata*, *C. dodecandra*, *G. ulmifolia* o *S. microphylla*, respectivamente (intercepto)
- $\beta_1$  = incremento diario promedio de la especie base *T. rosea* (pendiente de la recta)
- $\beta_{1k}$  = adicionalidad al incremento diario promedio de la especie de referencia, que representa el incremento de *B. alicastrum*, *B. simaruba*, *C. odorata*, *C. dodecandra*, *G. ulmifolia* o *S. microphylla*, respectivamente (pendiente de la recta)
- $I_k$  = variable indicadora igual a 1 cuando el individuo evaluado es *B. alicastrum*, *B. simaruba*, *C. odorata*, *C. dodecandra*, *G. ulmifolia* o *S. macrophylla* y cero, cuando pertenece a alguna de las especies en particular
- $\beta_{OD}$  = tamaño inicial promedio de la especie base *T. rosea* (intercepto) con daño
- $I_D$  = variable indicadora que representa el individuo de la k-ésima especie que tiene algún daño principalmente pérdida de la yema apical
- $\beta_{1D}$  = incremento diario promedio de la especie base *T. rosea* con daño
- $\beta_{1kD}$  = adicionalidad al incremento diario promedio de la especie de referencia, que representa el incremento con daño de *B. alicastrum*, *B. simaruba* o *G. ulmifolia*
- $I_T$  = variable indicadora igual a 1 cuando el árbol evaluado es *T. rosea* y cero cuando es otra especie
- $e_i$  = error aleatorio asociado al modelo y
- $T$  = tiempo en días a partir de la primera medición.

The general model suggested and applied for height and diameter was the following:

$$Y = (\beta_0 + \beta_{OD} + I_D + \beta_{Ok} I_k) + (\beta_1 + \beta_{1k} I_k + \beta_{1D} I_D + \beta_{1kD} I_k I_D) xT + e_i \quad (1)$$

Where:

- $\beta_0$  = Initial average size of *T. rosea* as the basic species (intercept)
- $\beta_{Ok} I_k$  = Additions to the initial average size of the reference species, that represents the initial condition of the k- species that can be *B. alicastrum*, *B. simaruba*, *C. odorata*, *C. dodecandra*, *G. ulmifolia* or *S. microphylla*, respectively (intercept)
- $\beta_1$  = Average daily increment of *T. rosea*, as the basic species (gradient of the straight line)
- $\beta_{1k}$  = Addition to the average daily increment of the reference species, that represents the increment of *B. alicastrum*, *B. simaruba*, *C. odorata*, *C. dodecandra*, *G. ulmifolia* or *S. microphylla*, respectively (gradient of the straight line)
- $I_k$  = Indicator variable equal to 1 when the assessed individual is *B. alicastrum*, *B. simaruba*, *C. odorata*, *C. dodecandra*, *G. ulmifolia* or *S. macrophylla* and zero, when it belongs to one species in particular.
- $\beta_{OD}$  = Initial average size of the basic species *T. rosea* (intercept) with damage
- $I_D$  = Indicator variable que represents the individual of the k- species that has some damage, mainly the loss of the apical bud.
- $\beta_{1D}$  = Average daily increment of the basic species *T. rosea* with damage
- $\beta_{1kD}$  = Addition to the average daily increment of the reference species that represents the increment with damage of *B. alicastrum*, *B. simaruba* or *G. ulmifolia*
- $I_T$  = Indicator variable equal to 1 when the assessed tree is *T. rosea* and zero when it is a different species
- $e_i$  = Random error associated to the model and
- $T$  = Time in days since the first measurement

From the general covariance model for complete individuals (with or without damage) a first straight line equation surged that describes in a single and simplified manner each 1-1 species without damaged individuals:

$$\hat{Y} = (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{Ok}) + (\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{1k}) xT \quad (2)$$

The straight line equation that describes the average increment with damage for the basic species *T. rosea* was the following:

$$\hat{Y} = (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{OD} + I_D) + (\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{1D} I_D) xT \quad (3)$$

Del modelo de covarianza general para individuos completos (con y sin daño) se derivó una primera ecuación de línea recta que describe de manera individual y simplificada a cada especie 1-1 pero sin individuos dañados:

$$Y_{\lambda} = (\beta_{\lambda 0} + \beta_{\lambda 0k}) + (\beta_{\lambda 1} + \beta_{\lambda 1k})xT \quad (2)$$

La ecuación de línea recta que describe el incremento promedio con daño para la especie base, *T. rosea* fue:

$$Y_{\lambda} = (\beta_{\lambda 0} + \beta_{\lambda 0D} + I_D) + (\beta_{\lambda 1} + \beta_{\lambda 1D} I_{TD})xT \quad (3)$$

La ecuación de línea recta derivada del modelo (1) que describe el incremento promedio con daño para *B. alicastrum*, *B. simaruba* y *G. ulmifolia* se consigna a continuación:

$$Y_{\lambda} = (\beta_{\lambda 0} + \beta_{\lambda 0k}) + (\beta_{\lambda 1} + \beta_{\lambda 1k} \beta_{\lambda 1kD} I_k I_{kD})xT \quad (4)$$

Donde:

- $\beta_{\lambda 1kD}$  = adicionalidad al incremento diario promedio de la especie de referencia, que representa el incremento promedio de las especies dañadas
- $I_k$  = variable indicadora para *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba* y *Guazuma ulmifolia*
- $I_{kD}$  = variable indicadora para *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba* y *Guazuma ulmifolia* con daño

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento en altura por especie

*Cordia dodecandra* (cópite) tuvo buena respuesta en crecimiento (Cuadro 1, Figura 3), el cual llegó a ser rápido durante los primeros dos o tres años (Arteaga e Izaguirre, 2004; Benítez et al., 2004). Las especies de este género son recomendables para interactuar con pastos, siempre y cuando exista una adecuada luminosidad (Combe, 1982; Aide et al., 2000; Finegan y Delgado, 2000; Lozada et al., 2006).

La supervivencia de *C. dodecandra* fue del 100%, valor que demuestra su éxito en el establecimiento; también se presentó una alta supervivencia para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. en la región de San Pedro, Argentina 80% (Montagnini et al., 1997) y para *Cordia alliodora* en Costa Rica >70% (Piotto, 2007).

A *Swietenia macrophylla* le correspondieron los mejores crecimientos en altura (Cuadro 1, Figura 3), por la probable presencia de una adecuada luminosidad que incrementó la altura de la especie (Jiménez, 1999); como lo demostraron Grogan et al. (2003) en claros artificiales dentro de un bosque de Pará, Brazil y en La Selva Lacandona, Chiapas (Román et al., 2007)

The straight line equation from model (1) that describes the average increment with damage for *B. alicastrum*, *B. simaruba* and *G. ulmifolia* is:

$$Y_{\lambda} = (\beta_{\lambda 0} + \beta_{\lambda 0k}) + (\beta_{\lambda 1} + \beta_{\lambda 1k} \beta_{\lambda 1kD} I_k I_{kD})xT \quad (4)$$

Where:

- $\beta_{\lambda 1kD}$  = Addition to the average daily increment of the reference species that represents the average increment of the damaged species
- $I_k$  = Indicator variable for *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba* and *Guazuma ulmifolia*
- $I_{kD}$  = Indicator variable for *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba* and *Guazuma ulmifolia* with damage

## RESULTS AND DISCUSSION

### Species height growth

*Cordia dodecandra* ("cópite") had a good growth response (Table 1, Figure 3), which became fast during the first two or three years (Arteaga and Izaguirre, 2004; Benítez et al., 2004). The species of this genus are recommended for interacting with grass, as long as there is the right sunshine (Combe, 1982; Aide et al., 2000; Finegan and Delgado, 2000; Lozada et al., 2006).

Survival of *C. dodecandra* was 100 %, which confirms its establishment success, a result rather close to the 80% showed by *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud in the San Pedro region, Argentina (Montagnini et al., 1997) and to the >70% of *Cordia alliodora* in Costa Rica (Piotto, 2007).

*Swietenia macrophylla* reached the tallest size (Table 1, Figure 3), probably because of the effect of the right sunshine that increased the height of the species (Jiménez, 1999), as Grogan et al. (2003) demonstrated it in artificial clearings of a tropical forests at Pará, Brazil and in the Lacandona tropical rain forest in Chiapas State (Román et al., 2007); its height was greater after six months in lands that were kept free from grass for one year.

The outstanding survival of *S. macrophylla* (100 per cent) was possibly due to the beneficial effect from the grass that fostered the lowering of temperature and the increment of soil aeration, when it was under humid conditions and high temperature; something similar occurred in some abandoned livestock-lands after one year, where mortality was under 10% in three months of the dry season (Gerhardt, 1996). In addition, grass could have acted as a focus or natural barrier for the Meliaceae borer (*Hypsipyla grandela* Zeller), as was confirmed in Quitana Roo State with the taungya plantation system (12 years) in

cuya altura resultó mayor a los seis meses, en terrenos que permanecieron libres de pasto durante un año.

La alta supervivencia de *S. macrophylla* (100%) se debió, posiblemente, al efecto benéfico del pasto que favoreció la disminución de la temperatura y el aumento de la aireación del suelo, cuando este se encontraba bajo condiciones de la humedad, así como en una alta temperatura, algo similar se registró después de un año en potreros abandonados de Costa Rica, donde la mortandad fue menor al 10% a los tres meses de estación seca (Gerhardt, 1996). Además el pasto pudo haber actuado como un distractor o barrera natural para el ataque del barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandela* Zeller), como se demostró en Quintana Roo bajo el sistema de plantación taungya (12 años), en el que los cultivos favorecieron 72% de la supervivencia de la especie (Arteaga e Izaguirre, 2004).

Con base en lo anterior, en el primer año de la plantación de *S. macrophylla* parece ser importante, no sólo permitir una adecuada entrada de luz mediante un buen control de la vegetación competidora (Fierros *et al.*, 1999; Siemann y Rogers, 2003), sino mantener el microhábitat que ofrece el pasto, con el fin de evitar altos niveles de mortalidad, especialmente, en épocas de sequía.

*Tabebuia rosea* fue el segundo taxón con altura inicial promedio superior y la tercera en cuanto a tasa de crecimiento promedio (Cuadro 1, Figura 3); esto es similar a lo observado para otras especies del mismo género cuando crecen en potreros (Aide *et al.*, 2000; Zimmerman *et al.*, 2000; Ibrahim y Camargo, 2001). Respecto a su supervivencia alcanzó un valor de 94.7%, que coincide con la citada en Costa Rica (94%) (Piotto, 2007).

La presencia de daño, principalmente por desecación, en alguno de los individuos de *T. rosea* redujo su altura inicial a los 30 días y su tasa de crecimiento promedio fue negativa (Cuadro 1, Figura 4).

*Guazuma ulmifolia* (guácima) a pesar de que registró la mayor altura inicial promedio más sobresaliente y la tercera en altura final a los 330 días, su crecimiento por día no fue tan rápido como se hubiera esperado (Cuadro 1, Figura 3), aunque al igual que *B. simaruba* es nativa de la zona y forma parte de la vegetación secundaria, sin embargo se observó que posee un buen crecimiento y adaptabilidad (Pennington y Sarukhán, 1998; Ibrahim y Camargo, 2001; Love y Spaner, 2005). No obstante algunos individuos tuvieron ligeros daños, principalmente causados por altas temperaturas, esto último quizás favoreció que su crecimiento inicial se acelerara, ya que se considera una especie pionera temprana demandante de alta iluminación (Lozada *et al.*, 2006). *Guazuma ulmifolia* es

which crops favored 72 % of the species survival (Arteaga and Izaguirre, 2004).

Based upon the former results, during the first year of the *S. macrophylla* plantation it seems to be important not only to have a proper light income through a good control of the competing vegetation (Fierros *et al.*, 1999; Siemann and Rogers, 2003), but to keep the micro-habitat that grass provides, in order to avoid the high mortality numbers, especially in drought times.

*Tabebuia rosea* was the second taxon with the highest average initial height and the third of average growth rate (Table 1, Figure 3); this is similar to what has been observed in other species of the same genus when they grow in game-lands (Aide *et al.*, 2000; Zimmerman *et al.*, 2000; Ibrahim and Camargo, 2001). It reached a 94.7% of survival, which is coincident with the one stated of Costa Rica (94%) (Piotto, 2007).

Damage, mainly from desiccation, in some trees of *T. rosea* reduced their initial height after 30 days and its average growth rate was negative (Table 1, Figure 4).

*Guazuma ulmifolia* ("guácima"), in spite of having the most outstanding average initial height and the third one in the final height after 330 days, its daily growth was not as fast as expected (Table 1, Figure 3), even though, as *B. simaruba*, it is native of the zone and part of the secondary vegetation; however, it was observed that it has a good growth and adaptability (Pennington and Sarukhán, 1998; Ibrahim and Camargo, 2001; Love and Spaner, 2005). However, some individuals had slight damages, mainly caused by high temperatures, which might have favored that its initial growth would hasten, since it is considered a pioneer species that demands high sunshine (Lozada *et al.*, 2006). *Guazuma ulmifolia* is promising for plantations (Wishnie *et al.*, 2007), and for this study it seemed to play like such, as it kept a survival of a 100% during the first year that was recorded.

The average initial height of *Bursera simaruba* ("chacá") was similar to that of *T. rosea* (Table 1, Figure 3) and was not sensible to damage in regard to height, in spite of observing samples with a light apical bud desiccation. Its survival was 100% as it is native of the place and demands little attention during the initial stages (Niembro *et al.*, 2004); even drought can be good for its establishment as it happened with grafts of this species deforested in Honduras (Zahawi, 2005).

*Brosimum alicastrum* (ojite) proved its great ability to get humidity at a shallow soil depth (Ayala and Sandoval, 1995; Querejeta *et al.*, 2006), which confers it resistance and adaptability to very hard conditions and high temperatures as was the case of the plantation. After 90 days, many



promisoria en plantaciones (Wishnie *et al.*, 2007), y para este estudio pareció desempeñarse como tal, pues mantuvo una supervivencia del 100% durante el primer año de registro.

La altura inicial promedio de *Bursera simaruba* (chaca) resultó similar a *T. rosea* (Cuadro 1, Figura 3) y no fue sensible al daño respecto a su altura, pese a que se observaron ejemplares con desecamiento leve en su yema apical. Su supervivencia fue del 100%, por ser nativa de la zona de estudio y que requiere de poca atención en las etapas iniciales (Niembro *et al.*, 2004); incluso el período de sequía puede ser favorable para su establecimiento; tal como ocurrió con estacas de esta especie en áreas deforestadas de Honduras (Zahawi, 2005).

*Brosimum alicastrum* (ojite) ha demostrado gran capacidad para aprovechar humedad a poca profundidad del suelo (Ayala y Sandoval, 1995; Querejeta *et al.*, 2006), lo que le confiere resistencia y adaptabilidad a condiciones muy adversas y de altas temperaturas, como ocurrió en la plantación. En el día 90 varias plantas presentaron muerte y lesiones por desecación (noviembre 2006), pero su tasa de crecimiento promedio se modificó poco (Cuadro 1, Figura 5). Lo anterior, probablemente, se debió a que en noviembre se registró una de las menores precipitaciones del año (111 mm); sin embargo, la humedad registrada en octubre (el mes más lluvioso durante la etapa de establecimiento: 358.2 mm) pudo haberlos fomentado.

En dicha etapa *B. alicastrum* obtuvo una supervivencia del 96%, en parte debido a la falta de competencia con las otras especies, pues en etapa juvenil no es aconsejable su establecimiento en lugares demasiado oscuros ya que su supervivencia disminuye (Montgomery y Chazdon, 2002). En el presente estudio, el pasto es posible que funcione como especie nodriza, al evitar la desecación total de los individuos de *B. alicastrum* en la época de estiaje, de manera similar, en otros casos cuando fue plantada bajo *Acalypha cincta* Muell. Arg. y *Thouinia serrata* Radlk. tuvo los mayores porcentajes de supervivencia (Sánchez *et al.*, 2004). El pasto, debidamente controlado, propicia el establecimiento de ciertos taxa. Al respecto, en un pastizal degradado en la Selva Lacandona, Chiapas, la supervivencia de las especies arbustivas fue más alta, bajo la cobertura de gramíneas (Román *et al.*, 2007).

En *C. odorata*, por el contrario, una menor cantidad de luz quizás en respuesta a la presencia del pasto pudo haber interferido en los procesos fotosintéticos (Loik y Holl, 1999) (Cuadro 1, Figura 3). Este taxón requiere de luz solar en sus primeras fases de desarrollo para fomentar su incremento en altura; como ocurrió para una plantación en potreros del trópico seco de Panamá, donde *C. odorata* alcanzó una talla máxima de 81.7 cm en 16 meses (Griscom *et al.*, 2005). De manera

plants were dead or had drought damages (November, 2006), but its average height rate slightly changed (Table 1, Figure 5). Probably the former behavior was a response to the very low rainfall that took place in November (111 mm); however, the humidity of October (the rainiest month during the establishment stage, 358.2 mm) could have fostered it.

In such stage, *B. alicastrum* had a 96% survival, partly due to the lack of competence with the other species, since in the juvenile period it is not advisable to establish it in very dark places as its survival diminishes (Montgomery and Chazdon, 2002). In the actual study, grass might work as a nourishing species, as it avoids total desiccation of *B. alicastrum* individuals in this dry season; in a similar way, in other situations when it was planted under *Acalypha cincta* Muell. Arg. and *Thouinia serrata* Radlk. it had the best survival results (Sánchez *et al.*, 2004). Grass, if well-controlled, favors the establishment of some taxa. In this regard, in a declined grassland of Lacandona tropical rain forest, in Chiapas State, shrub species survival was higher under the cover of gramineae (Román *et al.*, 2007).

On the other hand, *C. odorata* could have suffered the effects of a lower light income as a response to the presence of grass, which could have interfered the photosynthetic processes (Loik y Holl, 1999) (Table 1, Figure 3). This taxon demands sunshine during its first development to promote its height increment, as it happened with a plantation in tropical dry game-grasslands of Panama, where *C. odorata* reached an outstanding size of 81.7 cm in 16 months (Griscom *et al.*, 2005). In a similar way, in a wet forest of Bolivia, its height was even taller in an open area (claro) that under natural regeneration conditions (Arteaga, 2006); while in a plantation at Campeche, Mexico (free of sunshine blocking), the species reached 61 cm after six months (Alderete, 2004). At São Paulo, Brazil, with better sunlight, *Cedrela fissilis* Vell. notoriously increased its height 30 days after its establishment (Santos *et al.*, 2006).

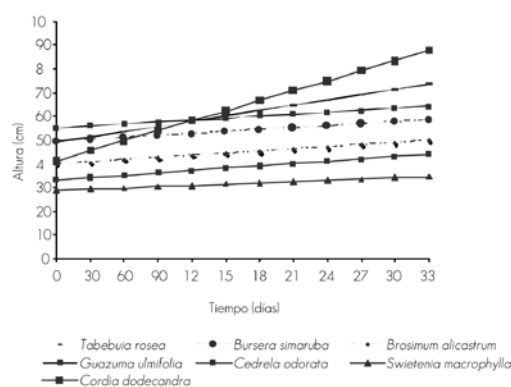


Figura 3. Relación entre altura y tiempo de crecimiento para el modelo de covarianza

Figure 3. Height and growth time relationship for the covariance model

Cuadro 1. Resumen del modelo de covarianza para altura por especie.  
Table 1. Summary of the height covariance model by species.

Especie	Altura inicial promedio (cm)	Parámetro	Valor de rechazo (p> t )	Tasa de crecimiento promedio (cm día <sup>-1</sup> )	Parámetro	Valor de rechazo (p> t )	Altura final a los 330 días (cm)
<i>Cordia dodecandra</i>	41.26	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{04}$	p<0.0065	0.14	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{14}$	p<0.0001**	87.61
<i>Tabebuia rosea</i>	49.07	$\hat{\beta}_0$	p<0.0001**	0.073	$\hat{\beta}_1$	p<0.0001**	73.35
<i>Tabebuia rosea</i> (con daño)	37.30	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{0D}$	p<0.0001**	-0.051	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{1D}$	p<0.0001**	73.35
<i>Guazuma ulmifolia</i>	54.95	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{05}$	p<0.0042	0.027	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{15}$	p<0.0001**	63.97
<i>Bursera simaruba</i>	49.07	$\hat{\beta}_0$	p>0.05*	0.028	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{12}$	p<0.0001**	58.24
<i>Brosimum alicastrum</i>	39.57	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{01}$	p<0.0001**	0.029	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{11}$	p<0.0002	49.46
<i>Brosimum alicastrum</i> (con daño)	39.57	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{01}$	p<0.0001**	0.0024	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{11} + \hat{\beta}_{11D}$	p<0.0202	40.36
<i>Cedrela odorata</i>	32.96	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{03}$	p<0.0001**	0.03	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{13}$	p<0.0228	43.98
<i>Swietenia macrophylla</i>	28.71	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{06}$	p<0.0001**	0.018	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{16}$	p<0.0015	75.05

\*\*p<0.0001 (altamente significativo)

\*p<0.0001 (very significant)

\*p>0.05 (no significativo o estadísticamente similar a la especie que tiene el mismo parámetro).

\*p>0.05 (non- significant or statistically similar to the species with the same parameter).

similar, en un bosque húmedo de Bolivia, su altura fue comparativamente superior en un área abierta (claro), que en condiciones de regeneración natural (Arteaga, 2006); mientras que para una plantación en Campeche, México (libre de interferencia lumínica) *C. odorata* registró una altura de 61 cm a los seis meses (Alderete, 2004). Así como en São Paulo, Brasil, con mayor iluminación, *Cedrela fissilis* Vell. incrementó notoriamente su altura a los 30 días de establecida (Santos *et al.*, 2006).

### Crecimiento en diámetro por especie

*Cordia dodecandra* fue una de las dos especies que mostró la mayor tasa de crecimiento promedio en diámetro (Cuadro 2), sobre todo en los últimos tres meses del período de mediciones (Figura 6). Comportamiento que pudo responder a un desarrollo intensivo de brotes al inicio del período de lluvias (mayo-julio), el cual no sólo está relacionado con la cantidad de agua transportada en el tallo sino con la edad de la especie y el tiempo de establecimiento de los individuos (Collet *et al.*, 2001; Benítez *et al.*, 2004; Meinzer *et al.*, 2005; Pennisi, 2005).

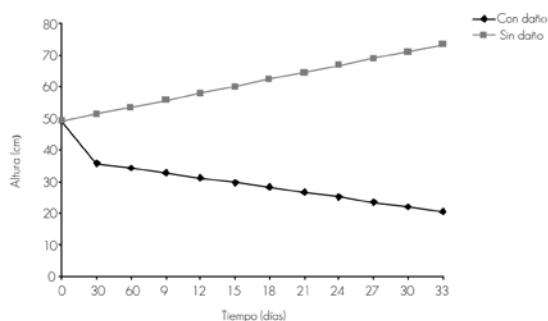


Figura 4. Relación entre altura y tiempo de crecimiento para individuos de *Tabebuia rosea* (Bertol) DC.

Figure 4. Height and growth time relationship for *Tabebuia rosea* (Bertol) DC.

La ausencia de competencia con los otros taxa (incluso el pasto) aunada a una cantidad de luz incidente más grande, favoreció el incremento en diámetro de *C. dodecandra* durante el primer año. Esto sugiere que el género *Cordia* se desarrolla en terrenos con pasto, como se cita para potreros abandonados de la Amazonia brasileña, donde *Cordia multispicata* alcanzó diámetros de 38-108 cm a los cuatro años (Guimarães et al., 1994); así como en plantaciones de Costa Rica, con individuos entre 6 y 11 años de *C. alliodora* (laurel), quienes manifiestan incrementos en diámetro (dap) de 2.1 cm año<sup>-1</sup> (Piotto et al., 2004).

*Tabebuia rosea* también registró una tasa de crecimiento promedio superior (Cuadro 2, Figura 6); sin embargo, cuando en los individuos se observó algún tipo de daño en el ápice, ésta disminuyó (Figura 7). Además es una especie que tolera sequías no muy prolongadas (Benítez et al., 2004; Mora et al., 2006), en el presente trabajo reactivó su crecimiento a los 60 días de plantada (octubre 2006), fecha en la precipitación fue más o menos abundante en la región, lo cual influyó de manera positiva en su crecimiento y favoreció el engrosamiento de su tallo.

Este taxón se desarrolla en potreros y pastizales, es nativo del área de estudio y forma parte de la vegetación secundaria (Pennington y Sarukhán, 1998; Aide et al., 2000), lo que contribuye a la obtención de uno de los mayores diámetros finales. Una razón adicional para el uso de *T. rosea* es la combinación con otras arbóreas afines, tal como se demostró para *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. en potreros abandonados de Costa Rica en donde sobresalieron los diámetros alcanzados en plantaciones mixtas (Montagnini, et al., 2003; Piotto et al., 2003; Alice et al., 2004).

El lento crecimiento en diámetro de *C. odorata* (Cuadro 2, Figura 6) es probable que responda al tamaño de sus individuos que a la presencia de pasto, ya que ambos coexisten sin problema alguno (Otero et al., 1999; Love y Spaner, 2005). En el presente estudio no se utilizó ningún fertilizante o herbicida, lo cual mejoraría el crecimiento en diámetro tal como sucedió con plantaciones en pasturas abandonadas de Panamá, las que aumentaron su diámetro después de 16 meses de aplicar herbicida en las primeras etapas de desarrollo (Griscom et al., 2005).

*Guazuma ulmifolia* no mostró daño en sus individuos (Cuadro 2, Figura 6), en cambio tuvo un rápido crecimiento y su tolerancia a sequías (Pennington y Sarukhán, 1998; Otero et al., 1999) le permitieron un buen desarrollo en las parcelas de evaluación.

En *Bursera simaruba* se obtuvo un diámetro inicial promedio similar a *T. rosea* (Cuadro 2, Figura 6); sin embargo, a

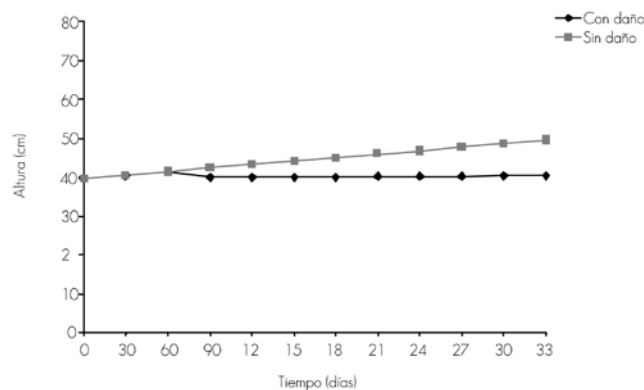


Figura 5. Relación entre altura y tiempo de crecimiento para individuos de *Brosimum alicastrum* Sw.

Figure 5. Height and growth time relationship for *Brosimum alicastrum* Sw.

#### Diameter growth by species

*Cordia dodecandra* was one of two species that showed the highest average growth in diameter rate (Table 2), particularly in the last three months of the measuring period (Figure 6), a behavior that could have been a response to the intensive development of shoots at the beginning of the rain period (May-July), which is related not only to the amount of water that is transported by the stem but also with the age of the species and the establishing time of the individual members (Collet et al., 2001; Benítez et al., 2004; Meinzer et al., 2005; Pennisi, 2005).

The non-existent competence with the other taxa (including grass) in addition to a greater amount of light, favored the diameter increment of *C. dodecandra* during the first year. This suggests that the *Cordia* genus develops in grounds with grass, as it has been reported in the Brazilian Amazon where *Cordia multispicata* reached 38 to 108 cm of diameter after four years in derelict livestock-grasslands (Guimarães et al., 1994); in plantations of Costa Rica, *C. alliodora* (laurel) showed diameter increments of 2.1 cm / year<sup>-1</sup> (Piotto et al., 2004).

*Tabebuia rosea* also had outstanding average growth rates (Table 2, Figure 6); however, it diminished as some kind of damage at the apex occurred (Figure 7); in addition, this species does not tolerate very long droughts (Benítez et al., 2004; Mora et al., 2006); in the actual research, it reactivated its growth after 60 days of having been planted (October, 2006), a time when rainfall was rather abundant in the surrounding, which had a positive influence in its growth and thickening of its stem.

This taxon develops in forage-grasslands and grasslands; it is native of the study area and belongs to the secondary

consecuencia del daño o desecamiento en el día 60 (octubre) el crecimiento disminuyó, aunque se recuperó a los 90 días (Figura 8), quizás gracias a su buena adaptación y a que la especie no requiere de mucha atención al momento de ser plantada, por la gran capacidad de almacenar nutrientes del suelo (Castillo *et al.*, 2003; Niembro *et al.*, 2004).

vegetation (Pennington and Sarukhán, 1998; Aide *et al.*, 2000), which helps to get great final diameters. An additional reason for to use *T. rosea* is tha its combination with other species that have a lot n common is successful, as was confirmed with *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. in abandoned forage-lands of Costa Rica where the final diameters of

Cuadro 2. Resumen del modelo de covarianza para diámetro por especie.  
Table 2. Summary of the diameter covariance model by species.

Especie	Diámetro inicial promedio (mm)	Parámetro	Valor de rechazo (pr> t )	Tasa de crecimiento promedio (mm día <sup>-1</sup> )	Parámetro	Valor de rechazo (pr> t )	Diámetro final a los 330 días (mm)
<i>Cordia dodecandra</i>	9.63	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{04}$	p<0.0017	0.046	$\hat{\beta}_1$	p>0.05*	24.78
<i>Tabebuia rosea</i>	8.65	$\hat{\beta}_0$	p<0.0001**	0.046	$\hat{\beta}_1$	p<0.0001**	23.8
<i>Tabebuia rosea</i> (con daño)	8.65	$\hat{\beta}_0$	p>0.05*	0.012	$\hat{\beta}_{1D}$	p<0.0001**	23.8
<i>Cedrela odorata</i>	8.65	$\hat{\beta}_0$	p>0.05*	0.028	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{13}$	p<0.0001**	17.8
<i>Guazuma ulmifolia</i>	5.66	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{05}$	p<0.0001**	0.023	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{15}$	p<0.0001**	13.12
<i>Bursera simaruba</i>	8.65	$\hat{\beta}_0$	p>0.05*	0.018	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{12}$	p<0.0001**	14.7
<i>Bursera simaruba</i> (con daño)	8.65	$\hat{\beta}_0$	p>0.05*	0.012	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{12} + \hat{\beta}_{12D}$	p<0.0011	14.7
<i>Swietenia macrophylla</i>	5.45	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{06}$	p<0.0001**	0.012	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{16}$	p<0.0001**	9.32
<i>Brosimum alicastrum</i>	4.98	$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_{01}$	p<0.0001**	0.0048	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_{11}$	p<0.0001**	6.55

\*\*p<0.0001 (altamente significativo)

\*p>0.05 (no significativo o estadísticamente similar a la especie que tiene el mismo parámetro).

\*\*p<0.0001 (very significant)

\*p>0.05 (non- significant or statistically similar to the species with the same parameter).

Los individuos de *S. macrophylla* presentaron valores reducidos de crecimiento en diámetro (Cuadro 2, Figura 6) debido, posiblemente, a la escasa precipitación registrada. Ésto se apoya en lo consignado para bosques naturales de Belice (Shono y Snook, 2006), donde una alta precipitación promovió un incremento del crecimiento diamétrico. Otra causa pudo ser un bajo contenido de proteínas en el xilema y floema secundario del tallo, raíz e incluso ramas, lo cual afectaría la etapa inicial de establecimiento y el crecimiento posterior en diámetro (Tian *et al.*, 2003).

mixed plantations were outstanding (Montagnini *et al.*, 2003; Piotto *et al.*, 2003; Alice *et al.*, 2004).

The slow diameter growth of *C. odorata* (Table 2, Figure 6) might be a response to the size of its individuals rather than to the presence of grass, since both co-exist with no problem at all (Otero *et al.*, 1999; Love and Spaner, 2005). No fertilizer or herbicide was used in this study, any of which would improve the size in diameter, as did happen with plantations in derelict livestock-grasslands in Panama, which became thicker in diameter after 16 months of herbicide application in the first development stages (Griscom *et al.*, 2005).

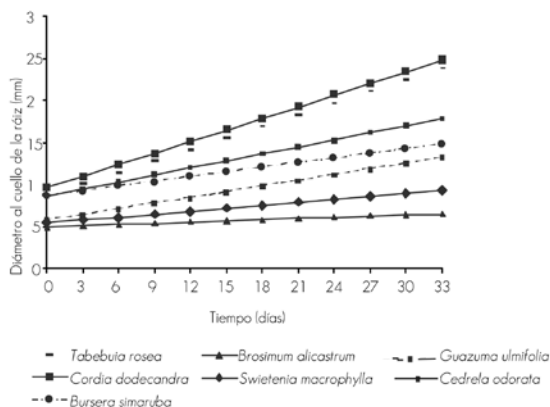


Figura 6. Relación entre diámetro al cuello de la raíz y tiempo para el modelo de covarianza con datos.

Figure 6. Relationship between the root collar diameter and time for the covariance model with complete data.

Los valores de *B. alicastrum* (ojite) para esta variable fue el menor (Cuadro 2, Figura 6), las probables causas fueron el tamaño inicial de sus individuos y la presencia de pasto. Aunque se considera una especie que puede sobrevivir bajo condiciones de poca luminosidad en sus primeras etapas de desarrollo, su crecimiento en general resultó menor que el de las especies con altos requerimientos de luz (Lin et al., 2002; Montgomery y Chazdon, 2002).

### CONCLUSIONES

El crecimiento en altura fue significativamente mayor que el crecimiento en diámetro para todas las especies durante el tiempo de medición. *Cordia dodecandra*, *Tabebuia rosea* y *Guazuma ulmifolia* mostraron las tasas de mayor crecimiento promedio en altura, seguidas por *Bursera simaruba*, *Brosimum alicastrum*, *Cedrele odorata* y *Swietenia macrophylla*. Los valores de crecimiento promedio en diámetro fueron superiores para *C. dodecandra* y *T. rosea*, seguidas por *C. odorata*, *G. ulmifolia*, *B. simaruba*, *S. macrophylla* y *B. alicastrum*.

El efecto del daño por desecación de la yema apical sólo se reflejó en la altura de *Brosimum alicastrum* y *T. rosea*; sin embargo, en ninguna de las dos especies los daños impidieron su crecimiento posterior, por lo que se demuestra que ambas pueden tolerar ciertas alteraciones (desecamiento) sin que éstas determinen su éxito en una plantación.

El crecimiento registrado en la mayoría de las especies de la presente investigación fue favorecido por una ausencia de competencia inicial por luz solar tanto entre ellas, como con el pasto, porque la zona de estudio pertenece a su área de distribución natural.

*Guazuma ulmifolia* did not show any damage (Table 2, Figure 6), but, in the other hand, had a fast growth, and its drought tolerance (Pennington and Sarukhán, 1998; Otero et al., 1999) helped it a good development in the assessment lots.

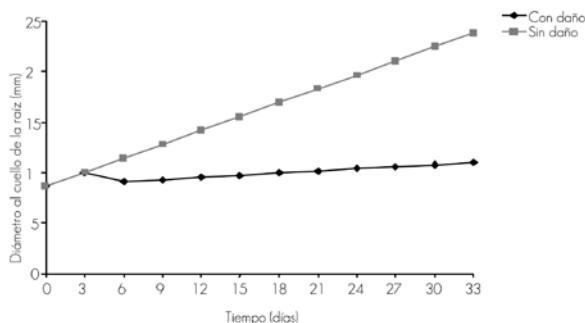


Figura 7. Relación entre el diámetro al cuello de la raíz y tiempo para individuos de *Tabebuia rosea* (Bertol).

Figure 7. Relationship between root collar and time for individuals of *Tabebuia rosea* (Bertol) DC.

*Bursera simaruba* had similar average initial diameters to *T. rosea* (Table 2, Figure 6); however, as a consequence of damage or the desiccation observed in day 60 (October), growth lowered, even if it recovered after 90 days (Figure 8), maybe because of its good adaptability and to the fact that it does not demand much attention when planted, as it can store soil nutriments (Castillo et al., 2003; Niembro et al., 2004).

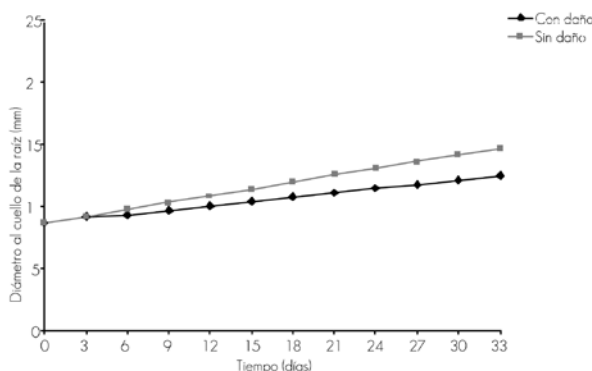


Figura 8. Relación entre el diámetro al cuello de la raíz y tiempo para individuos de *Bursera simaruba* (L.) Sarg.

Figure 8. Relationship between root collar and time for individuals of *Bursera simaruba* (L.) Sarg.

*S. macrophylla* plants showed low diameter growth values (Table 2, Figure 6), possibly due to the scarce rainfall. This is supported by what has been reported of natural forests of Belize (Shono and Snook, 2006), where an intense rainfall promoted growth diameter increment. Another cause could have been the low protein contents at the xylem and secondary phloem of the stem, root or even branches, which

Las siete especies son factibles de ser establecidas en terrenos con características ganaderas (potreros) y pendiente ligera (lomeríos), además de tener una alta supervivencia (98%) y adaptabilidad frente a condiciones adversas (sequía).

La plantación mixta de especies arbóreas es una forma apropiada de utilizar terrenos ganaderos, donde el pasto debe ser controlado durante los primeros meses de establecimiento.

## REFERENCIAS

- Aide, T. M., J. K. Zimmerman, J. B. Pascarella, L. Rivera and H. Marcano V. 2000. Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology. *Restoration Ecology* 8 (4): 328-338.
- Alderete C., A. 2004. Variación de frutos, semillas y plántulas de *Cedrela odorata* L. de Campeche y Tabasco y establecimiento de una prueba de progenie. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Instituto de Genética Forestal. Xalapa, Veracruz, México. 57 p.
- Alice, F., F. Montagnini y M. Montero. 2004. Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales en la Estación Biológica la Selva, Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28 (2): 61-71.
- Arteaga M B y Izaguirre R. 2004. Comportamiento de especies tropicales bajo tres sistemas de plantación. *Foresta veracruzana*, Universidad Veracruzana 6(1): 45-51.
- Arteaga, L. L. 2006. Crecimiento y herbivoría de plántulas de *Cedrela odorata* (Meliaceae) comparando un área abierta y otras bajo regeneración natural en la Estación biológica Tunquini. *Ecología en Bolivia* 41 (2): 130-137.
- Ayala A y S. M. Sandoval. 1995. Avances de investigación. Establecimiento y producción temprana de forraje de ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) en plantaciones a altas densidades en el norte de Yucatán, México. *Agroforestería en las Américas*. 2(7): 10-16.
- Benítez B., G., Ma. T. P. Pulido-Salas y M. Equihua Z. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología, A. C., SIGOLFO, CONAFOR. Xalapa, Veracruz, México. 288 p.
- Cárdenas B., L. 2003. Guía para el establecimiento de plantaciones forestales. Gobierno del Estado de Michoacán. Comisión Forestal del Estado de Michoacán, Morelia, Mich. México. 53 p.
- Casanova C., S., E. Zamora L., C. E. Herrera M., D. A., García O., P. Hernández V. y F. Martínez R. 2001. Datos breves sobre la monografía de Tihuatlán, Veracruz. H. Ayuntamiento Tihuatlán. Tihuatlán, Ver. México. pp. 84-85.
- Castillo C., G., R. Robles G. y M. E. Medina A. 2003. Flora y vegetación de la Sierra Cruz Tetela, Veracruz, México. *Polibotánica* 15: 41-87.
- Collet C., O. Lanter and M. Pardo. 2001. Effects of canopy opening on height and diameter growth in naturally regenerated beech seedlings. *Ann. For. Sci.* 58: 127-134.
- Combe, J. 1982. Agroforestry techniques in tropical countries: Potential and limitations. *Agroforestry Systems* 1: 13-27.
- Fierros G., A. M., A. Noguéz H. y E. Velasco B. 1999. Paquetes tecnológicos en ecosistemas de clima tropical. In: Fierros-González, A., A. Noguéz-Hernández y E. Velasco-Bautista (Comp.). Paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en ecosistemas de climas templado-fríos y tropicales de México. Vol. 1. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. Dirección de plantaciones comerciales forestales, SEMARNAT. México, D.F. México. pp. 35-44.
- Finegan, B. and D. Delgado. 2000. Structural and Floristic Heterogeneity in a 30-Year-Old Costa Rican Rain Forest Restored on Pasture Through Natural Secondary Succession. *Restoration Ecology* 8(4): 380-393.

would affect the initial establishment stage and the forthcoming diameter growth (Tian *et al.*, 2003).

The *B. alicastrum* values for this value were the lowest (Table 2, Figure 6), being probably due to the initial size of its individuals and the presence of grass. Even though it is considered a species that can survive under poor light conditions during its first stages, its growth turned to be smaller than that of the species with high light demands (Lin *et al.*, 2002; Montgomery and Chazdon, 2002).

## CONCLUSIONS

Height growth was significantly bigger than diameter growth for all the species during the time of assessment. *Cordia dodecandra*, *Tabebuia rosea* and *Guazuma ulmifolia* showed rates of maximum average growth in height, followed by *Bursera simaruba*, *Brosimum alicastrum*, *Cedrela odorata* and *Swietenia macrophylla*. The most important average diameter growth values were recorded by *C. dodecandra* and *T. rosea*, and *C. odorata*, *G. ulmifolia*, *B. simaruba*, *S. macrophylla* and *B. alicastrum* followed.

The effect of the damage caused by apical bud desiccation was only evident on the height achieved by *Brosimum alicastrum* and *T. rosea*; however, in any of both species, damages did not stop their late growth, which confirms that both can tolerate some alterations (desiccation) without affecting their success in a plantation.

The growth recorded by most species in the actual research project was favored by the absence of initial competence for sunlight among them, such as grass, because the study zone belongs to their natural distribution area.

The seven species can be established on lands with livestock-forage elements (potreros) and light slopes (lomeríos), from their high survival numbers (98%) and adaptability to hard conditions (drought).

The forest species mixed plantation is an advisable way to use livestock lands, where grass must be controlled during the first months of establishment.

*End of the English version*

- García M., E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Segunda edición. México, D.F. México. 245 p.
- Gerhardt, K. 1996. Germination and development of sown mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in secondary tropical dry forest habitats in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* 12: 275-289.
- Godínez I., O. y L. López M. 2002. Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestras de selva mediana subperennifolia. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 73 (2): 283-314.
- Griscom H., P., P. M. S. Ashton, and G. P. Berlyn. 2005. Seedling survival and growth of native tree species in pastures: implications for dry tropical forest rehabilitation in central Panama. *Forest Ecology and Management* 218: (1-3) 306-318.
- Grogan, J., M. S. Ashton and J. Galvão. 2003. Big leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedling survival and growth across a topographic gradient in southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 186: (1-3) 311-326.
- Guimarães, V. I. C., C. Uhl and D. Nepstad. 1994. The role of the shrub *Cordia multispicata* Cham. as a "succession facilitator in an abandoned pasture, Paragominas, Amazônia. *Vegetatio* 115: 91-99.
- Ibrahim, M. y J. C. Camargo, 2001. ¿Cómo aumentar la regeneración de árboles maderables en potreros? *Agroforestería en las Américas* 8 (32): 35-41.
- Infante G., S. y G. P. Zárate D. L. 2005. Métodos Estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. Editorial Trillas. Octava reimpression. México, D. F. México, pp. 465-532.
- Jiménez S., H. 1999. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica Revisión bibliográfica. Centro Científico Tropical PROARCA/CAPAS. Centroamérica-Estados Unidos. Miami, Fla. USA. 62 p.
- Lin, J., P. A. Harcombe, M. R. Fulton and R. W. Hall. 2002. Sapling growth and survivorship as a function of light in a mesic forest of southeast Texas, USA. *Oecologia* 132: 428-435.
- Loik, M. E. and K. D. Holl. 1999. Photosynthetic responses to light for rainforest seedlings planted in abandoned pasture, Costa Rica. *Restoration Ecology* 7 (4): 382-391.
- Love, B. and D. Spaner. 2005. A survey of small-scale farmers using trees in pastures in Herrera Province, Panama. *Journal of Sustainable Forestry* 20 (3): 37-65.
- Lozada, J. R., J. R. Guevara, P. Soriano y M. Costa, 2006. Estructura y composición florística de comunidades secundarias en patios de rolas abandonados, estación experimental Caparo, Barinas, Venezuela. *Interciencia* 31 (11): 828-835.
- Meinzer, F. C., B. J. Bond, J. M. Warren and D. R. Woodruff. 2005. Does water transport scale universally with tree size? *Functional Ecology* 19: 558-565.
- Miranda, F. y E. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Colegio de Postgraduados. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Sociedad Botánica de México. Chapingo. Estado de Méx. México. Número 28. 38 p.
- Molina C., C. H., C. H. Molina D., E. J. Molina D. y J. P. Molina D. 2003. El "Árbol" base para una producción ganadera competitiva y sostenible. In: Veracruz Avanza, Instituto Veracruzano para el Desarrollo Rural (INVEDER) y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Memoria, Seminario taller: Mejoramiento de la producción y transformación de la leche en el Estado de Veracruz. Tihuatlán, Totolapa, Tihuatlán, Ver. México, pp 65-83.
- Montagnini, F. 1992. Experiments with native trees in Costa Rica and Argentina. *Agroforestry Today*, 4 (3), julio-septiembre: 4-6.
- Montagnini, F., B. Eibl, L. Grance, D. Maiocco and D. Nozzi 1997. Enrichment planting in overexploited subtropical forests of the Paranaense region of Misiones, Argentina. *Forest Ecology and Management* 99: (1-2) 237-246.
- Montagnini, F., L. Ugalde and C. Navarro. 2003. Growth characteristics of some native tree species used in silvopastoral systems in the humid lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 59: 163-170.
- Montgomery, R. A. and R. L. Chazdon. 2002. Light gradient partitioning by tropical tree seedlings in the absence of canopy gaps. *Oecologia* 131: 165-174.
- Mora, S. A., J. I. Valdez H., G. Ángeles P., M. A., Musálem S. y H. Vaquera H. 2006. Establecimiento y desarrollo de plántulas de *Tabebuia rosea* (Bignoniaceae) en una selva subcaducifolia manejada de la costa Pacífica de México. *Rev. Biol. Trop.* 54 (4): 1215-1225.
- Musálem, M. A. 2001. Apuntes del curso Sistemas Agro-silvopastoriles del semestre de otoño (agosto-diciembre de 1998). Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo. Edo. de Méx. México, pp. 1-26.
- Musálem, M. A., A. M. Fierros, B. D. Dios, J. Martínez R. y G. E. Rojo. 2006. Elección de especies. In: Musálem, M. A. Silvicultura de plantaciones forestales comerciales. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Departamento de Ecología y silvicultura. Programa de Postgrado. Chapingo, Edo. de Méx. México, pp. 19-32.
- Nair, P. K. R. 1997. Especies agroforestales: árboles de usos múltiples. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sustentable. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México, pp. 197-227.
- Niembro R., A., I. Morato y J. A. Cuevas S. 2004. Catálogo de frutos y semillas de árboles y arbustos de valor actual y potencial para el desarrollo forestal de Veracruz y Puebla. Instituto de Ecología, A. C. Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques. Reporte final del proyecto CONACYT-CONAFOR-2002-COI-5741. Xalapa, Ver. México. 911 p.
- Otero A., A., S. Castillo, J. Meave and G. Ibarra M. 1999. Isolated pasture trees and the vegetation under their canopies in the Chiapas Coastal Plain, México. *Biotrópica* 31 (2): 243-254.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 1998. Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. México. 521 p.
- Pennisi, E. 2005. The sky is not the limit. *Science* 310: 1896-1897.
- Piotto, D., F. Montagnini, M. Kanninen, L. Ugalde and E. Viquez. 2004. Forest plantations in Costa Rica and Nicaragua: performance of species and preferences of farmers. *Journal of Sustainable Forestry* 18 (4): 59-77.
- Piotto, D. 2007. Growth of native tree species planted in open pasture, young secondary forest and mature forest in humid tropical Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 19 (2):92-102.
- Querejeta, J. I., H. Estrada M., M. F. Allen, J. J. Jiménez O., and R. Ruenes. 2006. Utilization of bedrock water by *Brosimum alicastrum* trees growing on shallow soil atop limestone in a dry tropical climate. *Plant Soil* 287: 187-197. Rodríguez T., D. A. 2006. Notas sobre el diseño de plantaciones de restauración. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12 (2): 111-123.
- Román D., F., S. Levy T., H. Perales R., N. Ramírez M., D. Douterlungne y S. López M. 2007. Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en la selva Lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada* 6 (1, 2): 1-8.
- Santos D., L., M. Rakocevic, M. Takaki and J. Ribaski. 2006. Morphological and physiological responses of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae) seedlings to light. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 49 (1): 171- 182.
- Sánchez V., L. R., S. Quintero G., F. Aragón C. and Ma. R. Pineda L. 2004. Nurses for *Brosimum alicastrum* reintroduction in secondary tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 198: (1-3) 401-404.
- Statistical Analysis System (SAS), 2003. SAS Institute Inc. Cary, NC. Versión 9.
- Shono, K. and L. K. Snook 2006. Growth of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in natural forests in Belize. *Journal of Tropical Forest Science* 18 (1): 66-73.
- Siemann, E. and W. E. Rogers. 2003. Changes in light and nitrogen availability under pioneer trees may indirectly facilitate tree invasions of grasslands. *Journal of Ecology* 91: 923-931.

- Tian, W. M., J. L. Wu, B. Z. Hao and Z. H. Hu. 2003. Vegetative storage proteins in the tropical tree *Swietenia macrophylla*: seasonal fluctuation in relation to a fundamental role in the regulation of tree growth. *Can. J. Bot.* 81: 492-500.
- Villavicencio, L. y J. I. Valdez. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia* 37(4):413-423.
- Wishnie, M. H., D. H. M. Dent, E. Mariscal, E. Deago, J. Cedeño, N. Ibarra, D. Condit R. and P. M. S. Ashton. 2007. Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama. *Forest Ecology and Management* 243: (1) 39-49.
- Zahawi, R. A. 2005. Establishment and growth of living fence species: an overlooked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. *Restoration Ecology* 13 (1): 92-102.
- Zimmerman, J. K., J. B. Pascarella, and T. M. Aide. 2000. Barriers to Forest Regeneration in an Abandoned Pasture in Puerto Rico. *Restoration Ecology* 8 (4): 350-360.