

CARACTERIZACIÓN Y DINÁMICA DE LA ESTRUCTURA DIAMÉTRICA DE UN BOSQUE TROPICAL SECUNDARIO EN CAMPECHE, MÉXICO

Jorge Luis López Torres¹ y Juan Carlos Tamarit Urias²

RESUMEN

Los bosques secundarios tienen gran potencial para la obtención de un amplio rango de productos maderables y no maderables así como de bienes y servicios ambientales, por lo que son importantes a nivel local, nacional y regional; sin embargo, su conocimiento es aún limitado. El objetivo del presente estudio consistió en caracterizar un bosque tropical secundario derivado de selva mediana subperennifolia después de haber sido eliminada la vegetación original por la práctica roza-tumba-quema. Se determinó la composición florística, abundancia de especies y la estructura diamétrica por medio de mediciones repetidas durante 20 años en un Sitio Permanente de Investigación Silvícola localizado en el Campo Experimental "El Tormento" en Escárcega, Campeche. Los resultados indican que en la comunidad estudiada, a mayor edad la composición y similitud de especies aumenta; reúne a 17 familias, 27 géneros y 28 especies de árboles. Con base en la abundancia de especies como parámetro estructural, se pudieron establecer tres patrones con respecto a la edad, lo que sugiere la necesidad de formar grupos ecológicos para facilitar el manejo y la aplicación de tratamientos silvícolas a los taxa que ofrezcan un potencial de aprovechamiento comercial maderable. El incremento medio anual en diámetro fue de 0.27 cm y el incremento en área basal fue de 1.41 m² ha⁻¹año⁻¹. La estructura diamétrica ajustada mediante la función de distribución de probabilidades Weibull demostró que a la edad de 20 años es posible aprovechar individuos con diámetro a la altura del pecho de 35 cm.

Palabras clave: Abundancia de especies, área basal, composición florística, desarrollo del rodal, distribución diamétrica, vegetación secundaria.

Fecha de recepción: 08 de marzo de 2005.

Fecha de aceptación: 07 de marzo de 2006.

¹ Campo Experimental Chiná, Centro de Investigación Regional Sureste, INIFAP. Correo-e: jlopetorre@yahoo.com

² Campo Experimental San Martinito, Centro de Investigación Regional Centro, INIFAP.

ABSTRACT

Secondary forests have a great potential for the production of wood and non-wood products, as well as in the provision of environmental services, and are very important at the local, national and regional levels. In spite of these qualities, knowledge on secondary forests is still limited. The objective of this study was to describe a secondary tropical forest derived of semi-evergreen tropical forest in which the slash-and-burn system was used. Floristic composition, species abundance and diameter structure were determined. The data used came from one Permanent Site of Silvicultural Research located in the Forestry Experimental Station "El Tormento", Escarcega, Campeche; five different ages in a 20 year period were included. Results show that this secondary forest presents 17 families, 27 genera and a total of 28 tree species, where species composition and similarity increased with stand age. Three general patterns of abundance were determined, this suggests the necessity to form ecological groups to facilitate the forest management for the application of silvicultural treatments to timber species that represent a potential of utilization and logging. The mean annual increment in diameter was of 0.27 cm and the increment in basal area was of 1.41 m² ha⁻¹yr⁻¹. Diameter structure adjusted by means of the probability density function Weibull indicated that in the 20-year-old secondary forest it is possible to harvest trees with a stem diameter at breast height of 35 cm.

Key words: Species abundance, basal area, floristic composition, diametric distribution, stand development, secondary vegetation.

INTRODUCCIÓN

Smith *et al.* (1997) y Wadsworth (2000) definieron a los bosques secundarios como un elemento sucesional que se establece mediante plantas leñosas en sitios en donde la vegetación original fue alterada por acciones antropogénicas, o por fenómenos naturales; su grado de recuperación está en función de la duración e intensidad del uso que haya tenido con anterioridad, así como de la cercanía a fuentes semilleras para su recolonización.

A nivel mundial este tipo de vegetación en climas tropicales alcanza una extensión de 896 millones ha, la cual se está incrementando. Wadsworth (2000) apunta que en México se tienen 26.3 millones ha de masas forestales secundarias con potencial productivo, que corresponde casi a 3% de esta cobertura.

Los bosques secundarios tropicales se caracterizan por una alta abundancia de especies de rápido crecimiento (Smith *et al.*, 1997; Spittler, 2001), que pueden brindar una amplia gama de productos, bienes y servicios; además de llegar a ser muy productivos desde el punto de vista económico, con incrementos similares a los alcanzados en plantaciones forestales comerciales (Finegan, 1992;

Wadsworth, 2000). En el ámbito local representan una fuente de frutas, plantas medicinales, materiales para construcción, forraje y madera de valor comercial para el mercado. En el contexto ecológico, son importantes puesto que con la acumulación de su biomasa constituyen grandes reservorios y sumideros superficiales de carbono; se ha estimado que almacenan de 25 a 190 ton de carbono/ha y proporcionan beneficios hidrológicos, al suelo y a la biodiversidad (Johnson *et al.*, 2001).

Sin embargo, por las características ventajosas que posee, en trabajos recientes se ha usado la función de distribución de probabilidades Weibull (Návar y Contreras, 2000; Cao, 2004), ya que es de fácil manejo matemático, presenta gran flexibilidad puesto que adopta formas desde una "J" invertida hasta la de "campana" con diversos grados de asimetría, por lo que es posible modificarla sin que pierda sus cualidades básicas y puede integrarse analíticamente (Bailey y Dell, 1973; Rennolls *et al.*, 1985; Torres *et al.*, 1992; Vanclay, 1994; Maldonado y Návar, 2002).

Es necesario conocer la estructura diamétrica en la prescripción de las intervenciones de manejo, la determinación del rendimiento por tipo de producto a diferentes edades y la estimación del valor económico de un bosque, es decir, las frecuencias del número de árboles por categorías del grosor del tronco (Bailey y Dell, 1973; Clutter *et al.*, 1983; Rennolls *et al.*, 1985; Cao, 2004), que en la actualidad se presume es posible representarla mediante el uso de una función de distribución de probabilidades como la Normal, Beta y Gama (Torres *et al.*, 1992; Acosta *et al.*, 1997).

El objetivo del presente estudio fue caracterizar un bosque secundario derivado de selva mediana subperennifolia mediante la determinación y análisis de la composición florística, la abundancia de especies y la estructura diamétrica, utilizando mediciones repetidas por un período de veinte años en un Sitio Permanente de Investigación Silvícola localizado en la región de Escárcega, Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de trabajo

La investigación se desarrolló en el Campo Experimental El Tormento del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el kilómetro 292 de la carretera Escárcega-Villahermosa, dentro del municipio de Escárcega, Campeche. Geográficamente está ubicado entre los paralelos 18° 36' 25" latitud norte y 90° 43' 35" longitud oeste, a 60 msnm (Cedeño, 1981).

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), la fórmula climática del lugar es $Aw_1(i')g$, que corresponde a un cálido subhúmedo con lluvias en verano; que inician en mayo y junio, y alcanzan su máxima en septiembre cuando se presentan ciclones; la precipitación invernal varía entre 5 y 10% (de noviembre a febrero) respecto a la anual, debido a la ocurrencia de los vientos llamados "nortes". La precipitación anual llega a ser de 1390 mm, la temperatura media anual de 24.1°C, con máximas y mínimas promedio de 32.1 y 15.9°C respectivamente; la oscilación térmica mensual fluctúa de 5 a 7°C (Centeno, 1989).

Los tipos de suelo predominantes en el área de estudio de acuerdo con la clasificación FAO/UNESCO son litosoles, rendzinas y vertisoles; y según la maya equivalen a Tzekel, Ya'axhomm y Ak'alche, los primeros son dominantes y se presentan en las partes altas y bien drenadas, en tanto que el último es característico de zonas bajas inundables (Cuanalo, 1981).

El tipo de vegetación en el campo pertenece a la selva mediana y baja subperennifolia (Centeno, 1990b; SARH, 1985). Las especies forestales más abundantes son: *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. (T'zalam), *Manilkara zapota* (L.) van Royen. (Zapote), *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), *Bucida buceras* L. (Pucté), *Brosimum alicastrum* Sw. (Ramón), *Metopium brownei* (Jacq.) Urban. (Chechén negro) y *Piscidia communis* (L.) Sarg. (Jabín) (Centeno, 1989). Entre los taxa de mayor importancia económica destacan *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Swietenia macrophylla* King. (Caoba), *Cordia dodecandra* A. DC. (Siricote) y *Platymiscium yucatanum* Standl. (Granadillo).

Parcelas de observación

En el C. E. El Tormento se localizó un área dentro de una selva mediana subperennifolia a la que se le había aplicado el sistema de producción agrícola denominado Roza-Tumba-Quema (RTQ) y que fue abandonada durante siete años, dando lugar así a un bosque secundario, conocido como acahual.

Con base en las recomendaciones de Manzanilla (1993), se estableció un Sitio Permanente de Investigación Silvícola (SPIS) de forma cuadrada con una superficie de 1 ha, en cuyo centro se ubicó un cuadrado de 50 x 50 m, en donde se levantó la información dasométrica que se detalla en la siguiente sección.

Toma de datos

La información registrada en el SPIS consistió en: identificación de cada una de las especies forestales presentes, cuantificación de todos los individuos de cada especie identificada, diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal y volumen de todos los individuos con DAP igual o mayor de 7.5 cm, ya que este

valor se consideró como el diámetro mínimo con el que se asegura la supervivencia hasta que el individuo se integra al dosel (Centeno, 1989). La toma de datos se hizo en 1985, 1989, 1992 y 1995, de tal manera que el sitio contaba con 20 años de edad en su última medición.

Procesamiento de datos

Se determinó la abundancia absoluta (número total de individuos pertenecientes a una especie) y la relativa (la participación porcentual de cada especie con respecto al número total de individuos presentes en la muestra), a partir del número de individuos por especie.

Con el propósito de comparar y conocer la similitud florística entre diferentes edades se utilizó el índice de Jaccard (I_j) con los datos cualitativos de presencia-ausencia; el valor de este índice varía de 0 (no hay especies en común entre dos unidades que se comparan), hasta 1 (todas ellas están en las unidades), es decir, cuando las unidades comparadas tienen la misma composición (Krebs, 1989; Stiling, 1999; Magurran, 2004).

Para calcular el grado de cambio en la composición de especies a diferentes edades (tiempos) dentro del mismo sitio, se empleó el índice de diversidad Beta de Magurran (β); a este parámetro se le denomina diversidad beta temporal (Pielou, 1975; Wilson y Shmida, 1984; Magurran, 2004).

Las comparaciones que se hicieron fueron sólo para edades consecutivas así como entre la primera y la última edad; los índices se obtuvieron por medio de las fórmulas siguientes:

$$I_j = \frac{c}{a+b-c} \quad (1)$$

$$\beta = (a+b)(1-I_j) \quad (2)$$

Donde:

I_{j0} = Índice de Jacard.

β = Diversidad beta de Magurran.

a = Número de especies presentes en la edad 1

b = Número de especies presentes en la edad 2

c = Número de especies presentes en las dos edades que se comparan.

Adicionalmente, se determinó el incremento medio anual y sus correspondientes estadísticos básicos, la clasificación se realizó según los criterios de Ramos *et al.* (1986); para cada edad se estimó el área basal en $m^2 ha^{-1}$, así como el volumen total maderable en $m^3 ha^{-1}$ con los modelos generados por el INIF para las especies del estado de Campeche (SARH, 1985); además se obtuvieron sus respectivos incrementos anuales.

Para el estudio de la estructura diamétrica se usó la función de distribución de probabilidades Weibull, definida por Bailey y Dell (1973), Clutter *et al.* (1983) y Cao (2004) como:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{b} \right)^c \right] & (a \leq x \leq \infty) \\ 0, \text{ de otra forma} & \end{cases} \quad (3)$$

Donde:

- $f_x(x)$ = Probabilidad asociada con cada posible valor de la variable aleatoria x
- a = Parámetro de localización
- B = Parámetro de escala
- c = Parámetro de forma.

Los parámetros del modelo se estimaron para las cinco edades con los datos de las distribuciones diamétricas observadas por medio de la ecuación (3) mediante regresión no lineal, para lo cual se utilizó el procedimiento *NLIN* y el método de *MARQUART* del programa de cómputo Statistical Analysis System (SAS, 1999).

Como el menor diámetro que se midió fue de 7.5 cm en este trabajo, al parámetro de localización se le dio el valor de 7.0 cm, ya que para distribuciones diamétricas se interpreta como el diámetro normal más pequeño posible (Clutter *et al.*, 1983; Torres *et al.*, 2000); para el ajuste, las mediciones correspondientes se clasificaron en categorías de cinco en cinco centímetros dentro del intervalo de 10 hasta 35 cm.

Los criterios de bondad de ajuste del modelo fueron los estadísticos Seudo R^2 y cuadrado medio del error.

Después de la estimación de los parámetros, se determinó la distribución de frecuencias por categoría diamétrica, para lo cual se integra la ecuación (3) de acuerdo con Bailey y Dell (1973) y Clutter *et al.* (1983), misma que se planteó de la forma:

$$f_x(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] & (a \leq x \leq \infty) \\ 0, \text{ de otra forma} & \end{cases} \quad (4)$$

Al considerar los límites superior e inferior de cada categoría diamétrica, con base en las recomendaciones de Clutter *et al.* (1983) y Rennolls *et al.* (1985), a partir de la ecuación (4) se genera la ecuación (5), bajo el supuesto de que los parámetros de la función de distribución de probabilidades Weibull son conocidos, finalmente con base en el número total de individuos, se calculó la distribución teórica del diámetro.

$$P(l \leq x \leq u) = \exp\left[-\left(\frac{l-a}{b}\right)^c\right] - \exp\left[-\left(\frac{u-a}{b}\right)^c\right] \quad (5)$$

Donde:

- l = Valor inferior de la categoría diamétrica (x)
- u = Valor superior de la categoría diamétrica (x)
- x = Categoría diamétrica
- P = Proporción de probabilidad para cada categoría diamétrica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los 20 años de observación, se hizo el registro de 17 familias, 27 géneros y 28 especies arbóreas (cuadros 1 y 2), de las cuales Leguminosae y Sapotaceae fueron las mejor representadas con cinco y cuatro especies, respectivamente, mismas que en conjunto contribuyen con 32% del total; 65% de las familias son monoespecíficas, pero aún así, la mezcla de especies es alta.

Se determinó que en un periodo de 13 años el número de taxa aumentó, de 15 a los siete años, a 24 a los 20 años, lo cual coincide con lo presentado por Wadsworth (2000), quien menciona que durante un período de 11 años

Cuadro 1. Composición florística y abundancia relativa de un bosque secundario en Campeche, México, para especies presentes desde los siete años de edad del acahual.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Edad del bosque (años)							Área basal (m ²)
			7	10	14	17	20			
T'zalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth	Leguminosae	66.5	62.4	56.8	54.4	52.0	4.3401		
Pochote	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.)	Cochlospermaceae	10.5	6.7	2.5	1.6	1.6	0.0726		
Chacá colorado	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Burseraceae	8.1	8.0	9.6	10.4	10.7	0.5291		
Jabín	<i>Piscidia communis</i> (L.) Sarg.	Leguminosae	3.3	3.1	3.3	3.1	3.2	0.1641		
Sac chacá	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Dcne. & Planch	Araliaceae	2.4	4.3	4.6	4.9	5.1	0.2332		
Machiche	<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl.	Leguminosae	1.9	1.2	3.8	4.4	4.5	0.1683		
Ya'axnik	<i>Vitex gaumeri</i> Grenm	Verbenaceae	1.9	2.8	2.7	2.6	2.7	0.1379		
Trementino	<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britt. & Millisp.	Flacourtiaceae	1.4	1.8	1.9	2.3	2.4	0.1155		
Jobo	<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.0248		
Laurelillo	<i>Licaria peeki</i> (Sandl.) Kosterm	Lauraceae	0.5	5.8	8.2	9.1	9.6	0.4194		
Caimitillo	<i>Cryosophyllum mexicanum</i> Brand. Ex Standl.	Sapotaceae	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.0137		
Guano yucateco	<i>Sabal morrisiana</i> Bartlett	Palmae	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0442		
Caracolillo	<i>Mastichodendron capiri</i> (A. DC.) Cronquist	Sapotaceae	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0270		
Cedro rojo	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	0.5							
Majagua ioltzin	<i>Heliocarpus mexicanus</i> (Turcz.) Sprague	Tiliaceae	0.5	0.3						
Total de individuos			209	327	366	386	375			
Total de especies			15	18	24	25	24	6.4789 ¹		
Total de familias			12	13	15	15	16			

¹ Área basal total para el sitio de estudio (2500m²).

Cuadro 2. Composición florística y abundancia relativa de un bosque secundario en Campeche, México, para especies presentes desde los diez años de edad del acahual.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Edad del bosque (años)						Área basal (m ²)
			7	10	14	17	20		
Ramón colorado	<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	Moraceae	0.6	1.1	1.0	1.0	1.1	0.0290	
Kanisté	<i>Pouteria campechiana</i> (H.B.K.) Baehni	Sapotaceae	0.3	0.5	0.8	1.3	0.0528		
Anonilla	<i>Annona primigenia</i> Standl. & St.	Annonaceae	0.3	0.5	1.1	0.0270			
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i> L.	Moraceae	0.6	0.5	0.5				
Zapote faisán	<i>Diphollis salicifolia</i> (L.) A. Dc.	Sapotaceae	0.3	0.5	0.5	0.5	0.0179		
Guácimo de montaña	<i>Luehea speciosa</i> (Willd.)	Tiliaceae	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0123		
Chechem negro	<i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urban.	Anacardiaceae	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0105		
Palo gusano	<i>Lonchocarpus longistylus</i> Pittier.	Leguminosae	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0052		
Katzin	<i>Mimosa hemiendyfa</i> Rose & Robinson	Leguminosae	0.3	0.3	0.3				
Majahua blanca	<i>Hampea trilobata</i> Standl.	Malvaceae	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0079		
Manzanilla	<i>Malva viscus</i> sp.	Malvaceae	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0097		
Papelillo	<i>Alseis yucatanensis</i> Standl.	Rubiaceae	0.3	0.3	0.3	0.5	0.0110		
Copal colorado	<i>Cupania glabra</i> Sw.	Sapindaceae				0.3	0.0058		
Total de individuos			209	327	366	386	375		
Total de especies			15	18	24	25	24	6.4789 ¹	
Total de familias			12	13	15	15	16		

¹ Área basal total para el sitio de estudio (2500m²).

en un bosque secundario de Costa Rica, la cantidad de especies arbóreas se incrementó de 10 a 54, cuando se tomaron en cuenta a los individuos existentes en la regeneración con un diámetro menor a 7.5 cm; en el presente trabajo sólo se contabilizaron los que alcanzaran o superaran este grosor, por lo que el número de individuos, de especies y de familias que se puede considerar, tiende a ser menor.

De las 28 especies registradas, sólo 13 fueron comunes en todas las edades y de éstas, seis destacaron por su alta abundancia y mayor área basal. A nivel de especie, se determinó que el gran número inicial de *Lysiloma latisiliquum* se mantiene hasta los 20 años; sin embargo, la proporción de individuos con respecto al total, tiende a disminuir con la edad. *Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Willd. ex Spreng. manifiesta un comportamiento similar, aunque la tendencia es más drástica, ya que pasa de 10 a 1.5% de los siete a los 20 años.

En contraparte, también existen especies con disposición a incrementar su población en el sitio conforme la edad aumenta, entre las cuales destaca *Licaria peeki* (Sandl.) Kosterm que pasa de 1 a 9% del total de individuos de la edad de 7 a la de 20 años, respectivamente; un comportamiento similar presentó *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Dendropanax arboreus* (L.) Dcne. & Planch. ex Britt. Además, se observaron taxa que se mantuvieron estables en función del porcentaje de participación individual, como: *Spondias mombin* L., *Sabal morrisiana* Bartlett y *Piscidia communis*, entre otras.

De acuerdo con Lamprecht (1990) y Vanclay (1994) la densidad refleja el potencial del sitio y los hábitos de crecimiento de las especies presentes en él, por lo que este parámetro, relacionado directamente con la abundancia, es uno de los principales que deben tomarse en cuenta en el manejo de los bosques para inducirlos a etapas más productivas; así, las especies maderables tropicales del bosque secundario más numerosas y de valor comercial que deben integrarse a la aplicación de tratamientos silvícolas son: *Lysiloma latisiliquum*, *Dendropanax arboreus*, *Bursera simaruba*, *Lonchocarpus castilloi* Standl., *Licaria peeki* y *Piscidia communis*.

Finegan (1992), Smith *et al.* (1997) y Wadsworth (2000) advierten que el manejo de estas comunidades forestales es económicamente posible, sólo en donde los árboles son además de utilizables, susceptibles de comercialización, por lo que existe una convergencia entre lo ecológico-silvícola y el entorno socioeconómico. De igual manera, la formación de grupos ecológicos de especies con valor comercial, en función de su abundancia, puede facilitar en términos técnicos y prácticos las intervenciones silviculturales; así como la determinación de ciclos y de diámetros mínimos de corta.

Con relación a las seis especies más abundantes arriba indicadas, que

corresponden a las de mayor importancia comercial actual, se tiene que para la primera medición, 82% de los individuos pertenecieron a ese grupo, y en la última representaron 87% del total de individuos del sitio.

Los valores del índice de Jaccard variaron de 0.68 a 0.96 con una tendencia a aumentar con la edad del bosque (Cuadro 3), es decir que la semejanza en la composición de especies es media para las edades de 7, 10 y 14 años y alta para los 17 y 20 años, resultado que coincide con lo citado por De Walt *et al.* (2003) para ocho bosques secundarios del Monumento Natural Barro Colorado en Panamá quienes observaron que la similitud se incrementa con la edad del bosque. Por otra parte, con el índice de Magurran la diversidad beta fue mayor al aumentar el número de especies entre las edades que se compararon y también cuando se volvieron más diferentes; así, el grado de cambio en la composición de especies resultó ser alto a menor edad del bosque secundario estudiado.

Cuadro 3. Valores de los índices de Jaccard y de diversidad beta de Magurran.

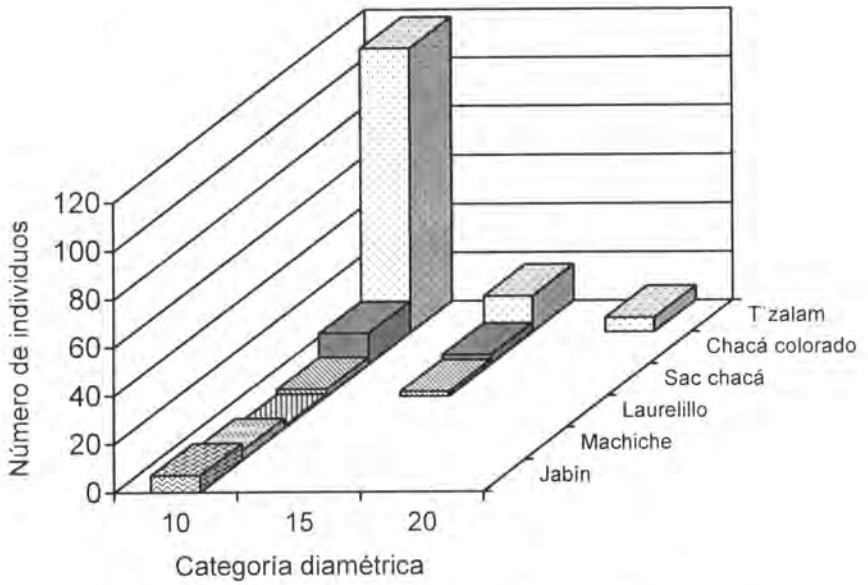
Índice	Edades del bosque secundario que se comparan				
	7 - 10	10 - 14	14 - 17	17 - 20	7 - 20
Jaccard (I_j)	0.73	0.68	0.96	0.88	0.50
Diversidad beta de Magurran (β)	8.91	13.44	1.96	5.88	19.50
Especies comunes	14	17	24	23	13

De igual forma, las edades del sitio con mayor similitud compartieron más especies y viceversa; esta evidencia sugiere que esta característica de un mismo bosque secundario está fuertemente asociada, tanto con la riqueza de especies registradas como con el número de taxa compartidos.

La mayoría de los individuos contabilizados en el bosque secundario son integrantes típicos de selva mediana subperennifolia, aunque coexisten especies que pertenecen a la vegetación secundaria; de tal manera que a la edad de 20 años se tiene un bosque secundario en proceso de sucesión hacia el tipo de vegetación que le dio origen.

En la Figura 1 se observa que para los árboles más abundantes en el bosque secundario en un periodo de 13 años se registró un aumento de tres categorías

a.- Bosque secundario con edad de siete años.



b.- Bosque secundario con edad de 20 años

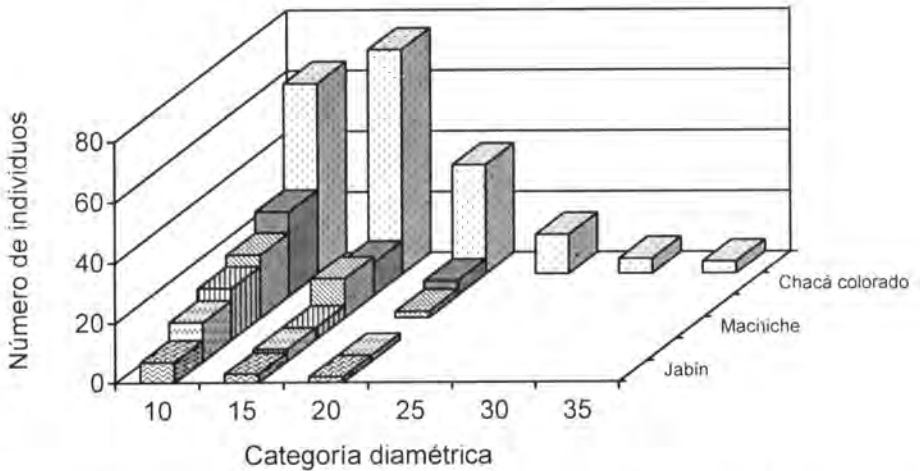


Figura 1. Estructura diamétrica para las especies más abundantes de un bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

diamétricas (25, 30 y 35 cm). En la medición inicial, 82% del total de individuos se ubicó en la categoría de 10 cm y el resto se distribuyeron en las categorías de 15 y 20 cm respectivamente; en tanto que en la última toma de datos, 45% de los individuos se integraron en la primera categoría (10 cm).

En general se estimó un incremento medio anual de 0.27 cm, el cual se clasifica como bajo (Cuadro 4), y es superior al determinado por Weaver (1979) para 26 especies de un bosque secundario en Puerto Rico, mismo que en promedio fue de 0.14 cm año⁻¹ para un periodo de medición de 26 años; en este sentido, Wadsworth (2000) señala que cuando se utilizan todos los valores de diámetro normal de todos los árboles, se subestima el crecimiento de aquellos individuos que crecen rápido y que tienen posibilidades de alcanzar el dosel y la madurez, que a su vez, constituyen el potencial maderable y que deben manejarse mediante la aplicación de tratamientos silvícolas.

Cuadro 4. Características dasométricas en relación con la edad del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

Número de observaciones	Edad (años)	Variable	Mínima	Media	Máxima	Desviación estándar
209	7	DAP (cm)	7.5000	10.3000	25.5000	2.8000
		AB (m ²)	0.0044	0.0090	0.0511	0.0059
327	10	DAP (cm)	7.6000	11.0000	26.0000	3.200
		AB (m ²)	0.0045	0.0103	0.0531	0.0072
366	14	DAP (cm)	7.6000	12.3000	30.7000	4.0000
		AB (m ²)	0.0045	0.0131	0.0740	0.0099
386	17	DAP (cm)	7.5000	13.1000	34.4000	4.7000
		AB (m ²)	0.0044	0.0152	0.0929	0.0125
375	20	DAP (cm)	7.6000	13.9000	37.2000	5.2000
		AB (m ²)	0.0046	0.0173	0.1089	0.0146
IMA en DAP (cm)				0.2700		

DAP = Diámetro a la altura del pecho; AB = Área basal; IMA = Incremento medio anual.

El diámetro máximo a los 20 años alcanzó 37.2 cm. Los valores crecientes de la desviación estándar, indican el aumento de probabilidad de encontrar mayor diversidad de categorías diamétricas al paso del tiempo.

El área basal es baja a menor edad, debido a la existencia de diámetros pequeños, y a medida que la edad es mayor, los individuos incrementan el grosor y, por lo tanto, se genera un aumento del área basal (Cuadro 5), comportamiento que coincide con lo señalado por Wadsworth (2000). Se determinó que el incremento medio anual de dicha variable fue de 1.4141 m^2 y el volumen de madera total/ha de 11.028 m^3 . Los valores de área basal por edad son similares a los observados por Centeno (1989) para bosques secundarios en la misma zona de estudio y derivados del mismo tipo de vegetación, pues dicho autor registró $13.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (11 años), $18.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (17 años) y $25.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (23 años).

El volumen total estimado en el presente trabajo es más alto al que menciona Centeno (1990a) para un bosque secundario de igual edad y origen, también es superior al que obtiene Spittler (2001) para un bosque secundario seco de Costa Rica con edad de 17 a 25 años estimados en 79 y $66.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente; con base en algunos datos dados a conocer por Centeno (1990b) se tiene que a la edad de 20 años el bosque secundario sólo es 11% menor con respecto al volumen total de una selva mediana subperennifolia de la misma zona de estudio, estimado en $207 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

La diferencia en la productividad entre bosques secundarios de acuerdo con Wadsworth (2000) responde a factores como fertilidad del suelo, precipitación, altitud, proximidad a fuentes de propágulos o fuentes semilleras, tipo e intensidad del uso anterior y extracciones, entre otros; con relación al incremento en volumen total se espera que conforme aumente la edad éste tienda a disminuir.

Los valores de los criterios para evaluar el ajuste a la función de densidad Weibull revelan que fue adecuado para cada una de las edades en las que se midió la masa (Cuadro 6); es evidente que la distribución diamétrica real es recuperada de manera muy aproximada con los parámetros usados y que da por resultado la distribución diamétrica teórica (Cuadro 7).

En general, la dinámica de la estructura diamétrica muestra un patrón en el cual el mayor número de individuos están representados en las clases diamétricas pequeñas, y disminuyen de manera gradual hacia las clases más grandes, es decir conforme aumenta el tamaño del diámetro, se reduce el número de individuos; sin embargo, a la edad de 20 años hay árboles que ingresan a la categoría diamétrica de 35 cm, situación que indica la posibilidad de poder aprovechar el bosque para la extracción de madera para aserrío a partir de ese momento.

Cuadro 5. Área basal, volumen de madera e incrementos por edad del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

Edad (años)	Área basal		Volumen total	
	m ² ha ⁻¹	Inc ha ⁻¹ año ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	Inc ha ⁻¹ año ⁻¹
7	7.4883		38.070	
10	13.4048	1.9721	78.659	14.751
14	19.2369	1.4580	129.344	11.023
17	23.4964	1.4198	160.204	10.341
20	25.9152	0.8063	184.387	7.998
IMA	1.4141		11.028	

Inc: incremento; IMA: Incremento medio anual.

Cuadro 6. Parámetros estimados de la función de distribución de probabilidades Weibull y estadísticos por edad del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

Edad (años)	Parámetro		Seudo R ²	Cuadrado medio del error
	Escala (b)	Forma (c)		
7	3.3955	1.3657	0.9988	0.0820
10	4.0929	1.4785	0.9993	0.0795
14	5.6700	1.4688	0.9996	0.0539
17	6.6080	1.3350	0.9996	0.0526
20	7.4994	1.3257	0.9996	0.0557

Cuadro 7. Dinámica de la distribución diamétrica real (R) y teórica (T) del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

CD (cm)	Edad (años)									
	7		10		14		17		20	
	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T
10	177	178.731	258	257.193	223	225.337	205	209.528	181	181.750
15	24	28.171	51	63.508	115	109.41	127	115.784	116	114.322
20	7	1.868	12	5.704	16	26.205	37	43.184	55	51.114
25	1	0.071	6	0.264	9	4.069	9	12.833	14	18.841
30		0.002		0.007	3	0.452	7	3.241	5	6.062
35						0.038	1	0.718	4	1.751
40						0.002		0.143		0.462
45								0.026		0.113
50								0.004		0.026
55								0.001		0.005
	209	208.843	327	326.676	366	365.513	386	385.462	375	374.448

Wadsworth (2000) señala que los bosques secundarios sin tratamiento silvícola producen poca madera útil, pero son prometedores si se empiezan a manejar a una edad temprana, con la aplicación de ciclos de corta más estrechos o posibilidades de corta mayores, y sobre todo, se debe mantener la estructura diamétrica a mediano y largo plazo mediante la incorporación de individuos de la regeneración a las primeras categorías diamétricas para así conservar la estabilidad de la masa.

En el bosque de 7.0 y 10.0 años se obtuvo una curva asimétrica negativa similar a una "J" invertida característica de masas jóvenes (Figura 2), la cual

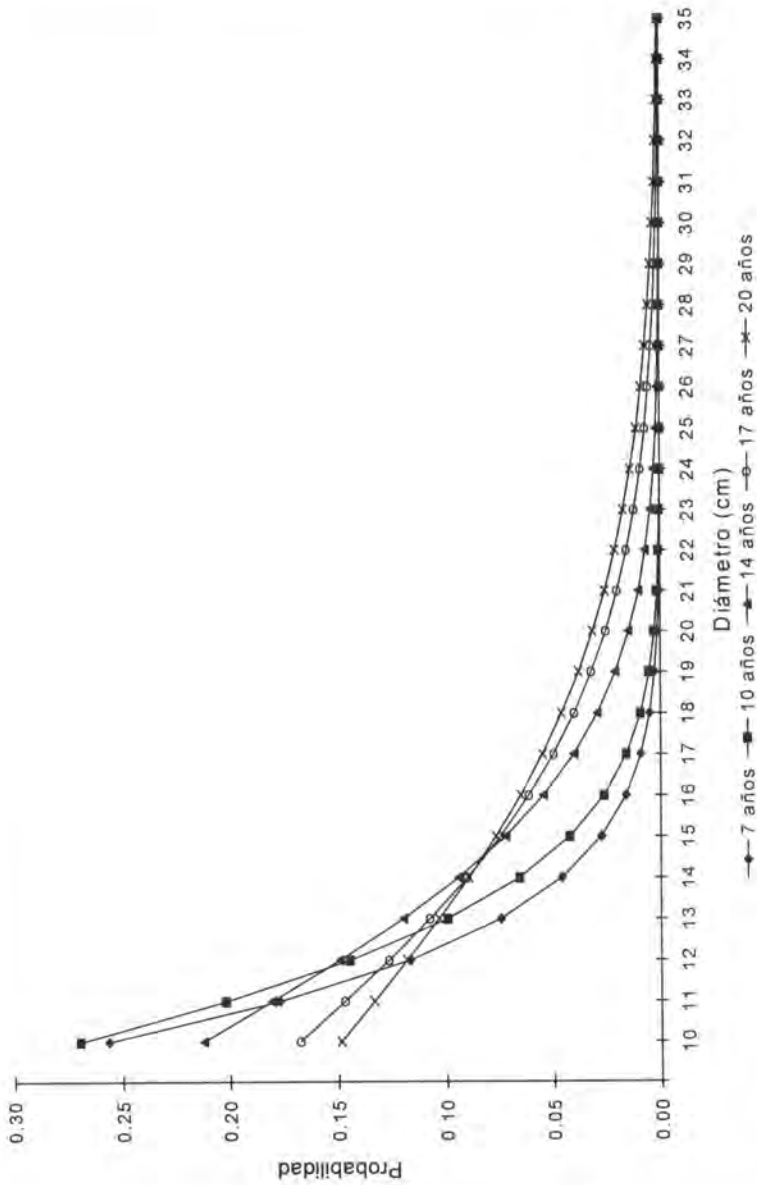


Figura 2. Distribución teórica del diámetro en función de la distribución Weibull del bosque secundario en Escárcega, Campeche, México.

pierde esta forma a medida que la edad aumenta, situación que es propia de las etapas sucesionales avanzadas, lo anterior corrobora la dinámica de crecimiento medio del diámetro observado en el Cuadro 4.

El comportamiento gráfico de la distribución diamétrica con la función de distribución de probabilidades Weibull está relacionado con los valores que toma el parámetro de forma c , el cual de acuerdo con Torres *et al.* (2000) refleja la forma de la ecuación; por lo tanto, al considerar la edad y el nivel de competencia presente puede utilizarse para identificar el tiempo aproximado de establecimiento de la masa arbórea, mismo que es de utilidad para decidir los tratamientos silvícolas que deberán aplicarse.

CONCLUSIONES

En un periodo sucesional de veinte años, el bosque secundario estudiado aumentó la composición y similitud de especies con la edad. Sin embargo, desde los siete años, estuvo presente 58% del total de especies identificadas en el sitio.

Los valores correspondientes al incremento medio anual en diámetro, en área basal y volumen maderable total sugieren que los bosques secundarios con edad y origen similares al estudiado en este trabajo pueden llegar a producir un volumen considerable de madera. Así, a los 20 años de edad es posible aprovechar árboles de 35 cm de diámetro.

La estructura diamétrica ajustada mediante la función de densidad de probabilidades Weibull resultó adecuada por la proximidad de los datos reales con los estimados, por lo que es posible usar el valor del parámetro de forma (c) para identificar el tiempo aproximado de establecimiento de la masa arbórea, la definición y la aplicación de técnicas y tratamientos silvícolas.

A partir del comportamiento de la abundancia de especies como atributo estructural durante el periodo sucesional, destaca la necesidad de formar grupos ecológicos y/o tecnológicos de especies con valor comercial, lo que permite definir las intervenciones silvícolas que deberán aplicarse en un bosque secundario.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento otorgado para realizar el presente estudio en su fase final a la Comisión Nacional Forestal a través del proyecto CONAFOR-2002-C01-5808 en el marco del Fondo Sectorial para la Investigación y la Innovación Tecnológica Forestal.

REFERENCIAS

- Acosta M., M., J. M. Torres R. y C. Rodríguez F. 1997. Predicción del rendimiento de *Pinus montezumae* Lamb. usando modelos de distribuciones diamétricas. *Ciencia Forestal en México* 22(81):71-90.
- Bailey, R. L. and T. Dell R. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science* 19(2):97-104.
- Cao, Q. V. 2004. Predicting parameters of a Weibull function for modeling diameter distribution. *Forest Science* 50(5):682-685.
- Cedeño S., O. 1981. Campo Experimental Forestal "El Tormento", Campeche. *Ciencia Forestal en México* 1(3):75-82.
- Centeno E., L. R. 1989. Análisis estructural de cuatro etapas sucesionales de selva mediana subperennifolia en la región de Escárcega, Campeche. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 178 p.
- Centeno E., L. R. 1990a. Sitios permanentes de investigación silvícola en el trópico. *In: Memorias de la Segunda Reunión Científica Forestal y Agropecuaria*. 4 de diciembre de 1990. INIFAP, Campeche, Camp. pp. 149.
- Centeno E., L. R. 1990b. Inventario forestal en la zona norte del campo experimental Ing. Eduardo Sangri Serrano. *In: Memorias de la Segunda Reunión Científica Forestal y Agropecuaria*. 4 de diciembre de 1990. INIFAP Campeche, Camp. pp. 148.
- Clutter, J. L., J. Fortson C. L. Pienaar V., G. Brister H. and R. Bailey L. 1983. Timber management: A quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. 333 p.
- Cuanalo de la C., H. E. 1981. Suelos del Campo Experimental Forestal "El Tormento", Campeche. *Bol. Téc. No. 15*. INIF. 2ª Ed. México, D. F. 25 p.
- De Walt, J. S., S. Maliakal K. and J. Denslow J. 2003. Changes in vegetation structure and composition along a tropical forest chronosequence: implications for wildlife. *Forest Ecology and Management* 182:139-151.
- Finegan, B. 1992. The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. *Forest Ecology and Management* 47(1-4): 295-321.
- García, E. 1988. Modificaciones a la clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. 252 p.
- Johnson, C. M., I. C. Vieira G., D. Zarin J., J. Frizano and A. Johnson H. 2001. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 147(2-3):245-252.
- Krebs, C. J. 1989. *Ecological methodology*. Harper Collins Publishers. New York, NY. 678 p.
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. República Federal de Alemania. 335 p.

- Maldonado A., D. y J. Nívar Ch. 2002. Ajuste y predicción de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de plantaciones de pino de Durango, México. *Madera y Bosques* 8(1):61-72.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science. Malden, MA, USA. 256 p.
- Manzanilla B., H. 1993. Los sitios permanentes de investigación silvícola. Un sistema integrado para iniciarse en el cultivo de los ecosistemas forestales. SARH-INIFAP. Bol. Téc. No. 116. 2ª ed. México, D. F. 101 p.
- Nívar Ch., J. J. y J. Contreras A. 2000. Ajuste de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de rodales irregulares de pino de Durango. *Agrociencia* 34(3):353-361.
- Pielou, E. C. 1975. *Ecological diversity*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA. 165 p.
- Ramos, L., H. Gra, P. Friol y L. Barreras. 1986. Algunos aspectos dasométricos del bosque semicaducifolio sobre caliza, en el Limón, Guanahacabibes, provincia de Pinar del Río. *Revista Forestal Baracoa* 16(1):45-64.
- Rennolls, K., D. Geary H. and T. J. Rollinson D. 1985. Characterizing diameter distributions by the use of the Weibull distribution. *Forestry* 58(1):57-66.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. *Inventario forestal del estado de Campeche*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF). Publicación especial No. 56. México, D. F. 92 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 1999. *SAS/STAT: User's Guide*, ver. 8.0. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1,596 p.
- Smith, J., C. Sabogal, W. de Jong y D. Kaimowitz. 1997. *Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina*. Occasional paper No. 13. Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia. 31 p.
- Spittler, P. 2001. *Potencial de manejo de los bosques secundarios en la zona seca del noroeste de Costa Rica*. República Federal de Alemania. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Serie No. TÖB TWF-23s. 104 p.
- Stiling, P. 1999. *Ecology: theories and applications*. 3rd edition. Prentice Hall. Inc. New Jersey, NJ, USA. 840 p.
- Torres R., J. M., M. Acosta M. y O. S. Magaña T. 1992. Métodos para estimar los parámetros de la función Weibull y su potencial para ser predichos a través de atributos del rodal. *Agrociencia* 2(2):57-76.
- Torres R., J. M., O. S. Magaña T. y M. Acosta M. 2000. Metodología para mejorar la predicción de parámetros de distribuciones diamétricas. *Agrociencia* 34(5):627-637.
- Vanclay J., K. 1994. *Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests*. CAB International. Wallingford, Oxon. UK. 312 p.

- Wadsworth H., F. 2000. Producción forestal para América Tropical. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710-S. Washington, DC. USA. 563 p.
- Weaver P., L. 1979. Tree growth in several tropical forests of Puerto Rico. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Pap. SO-152. 15 p.
- Wilson, M. V. and A. Shmida. 1984. Measuring beta diversity with presence-absence data. *Journal of Ecology* 72:1055-1064.