

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 25 NUM. 87 120 p. MÉXICO, D.F. ENE-JUN 2000

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN FORESTAL

CIENCIA FORESTAL

en México

VOL. 25

ENE-JUN 2000

NUM. 87

CONTENIDO

	Pag.
Editorial	3
CAMBIO DE USO DEL SUELO ENTRE LOS SECTORES FORESTAL, AGRÍCOLA Y PECUARIO Ramiro Flores Xolocotzi y Juan Manuel Torres Rojo	5
COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO Y RENTABILIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TRIPLAY David Zavala Zavala y Alfredo Corral Martínez	25
RESISTENCIA NATURAL DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES DE ENCINOS DEL ESTADO DE PUEBLA Luis Vázquez Silva y José Amador Honorato Salazar	45
REGENERACIÓN Y CRECIMIENTO DE LA CAOBA (<i>Swietenia macrophylla</i> King) EN SELVAS DE QUINTANA ROO Laura K. Snook	59
VARIACIÓN EN EL PATRÓN DE ALARGAMIENTO DEL BROTE TERMINAL EN DIFERENTES PROCEDENCIAS DE <i>Pinus engelmannii</i> Carr. Rodrigo Rodríguez Laguna, J. Jesús Vargas Hernández, Víctor M. Cetina Alcalá, Carlos Ramírez Herrera y J. Alberto Escalante Estrada.	77
LOS INCENDIOS FORESTALES CAUSADOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS EN CIÉNAGA DE ZAPATA, MATANZAS, CUBA Nelson Medina Torres y Arnoldo Alfonso Fernández	105
CONSEJO ARBITRAL	115
CONSEJO EDITORIAL	119

CAMBIO DE USO DEL SUELO ENTRE LOS SECTORES FORESTAL, AGRÍCOLA Y PECUARIO

Ramiro Flores Xolocotzi¹ y Juan Manuel Torres Rojo²

RESUMEN

El problema de la reducción de la cubierta forestal en México por cambios en el uso del suelo hacia la agricultura y la ganadería, es abordado por medio de un modelo de control óptimo. El modelo se basa en el ajuste de funciones de producción agrícola y ganadera a partir de las cuales se estima la cubierta forestal potencial en el estado estacionario. Las funciones empleadas corresponden a cambios en la cubierta forestal potencial por estado (excepto el Distrito Federal) con dos medidas de deforestación provenientes de los tres inventarios nacionales realizados a la fecha. Para el sector agrícola se utilizaron los datos de producción de arroz, cebada, frijol, maíz, papa, sorgo, trigo y la superficie se consideró como una aproximación de los insumos agrícolas, ponderada con la producción de maíz. La producción ganadera incluyó la carne en pie de ganado bovino, ovino y caprino, además de la precipitación anual. En ambos sectores se consideraron las tasas de interés y el nivel tecnológico. La cubierta forestal disminuye ante incrementos en el nivel tecnológico y la tasa de interés, siendo muy sensible (elástica) a cambios en esta última, sobre todo en el sector ganadero. El análisis de resultados de los inventarios forestales, agropecuarios y de las simulaciones de la cubierta forestal potencial en el estado estacionario, ponen en evidencia que el factor principal de cambio del uso del suelo es la ganadería extensiva que se practica, en especial en algunos estados del sureste de México.

Palabras clave: Agricultura, cambio del uso del suelo, control óptimo, cubierta forestal potencial, deforestación, ganadería.

ABSTRACT

An optimal control model was used to analyze the problem of the deforestation and reduction of forest cover in Mexico, and the use of those areas for agriculture

Fecha de recepción: 2 de junio de 1999

Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2002

¹ Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales en México (PROCYMAF), CONAFOR. Av. Progreso No. 5 Viveros de Coyoacán. México D. F. C. P. 04110. Correo-e: escorpion302@prodigy.net.mx.

² Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE). Lomas Altas de Santa Fé, México, D. F.

and pasture lands. The model is based upon functions of agriculture and production from which the forest cover potential was estimated at a steady state. These functions refer the changes in forest cover potential for every state of the country, excepting Distrito Federal. Two measurements of deforestation were used based upon data obtained from the three national forest inventories done up to the present. Production data of rice, barley, bean, maize, potatoes, sorghum and wheat were used for the agriculture sector, and the area was considered as an approach to agricultural incomes, pondered by maize production. Livestock production included cattle, sheep and goat as well as annual precipitation. Interest rates and technological level were taken into account for both sectors. Forest cover decreases when the technological level increases and interest rates change, and it is specially sensitive to the latter and particularly to the livestock production. Results analysis from the forest, agricultural and livestock inventories as well as the forest cover potential simulation at a steady state level, showed that the main factor of land use change is the extensive cattle grazing system practiced in Mexico, especially in some southeastern states of the country.

Key words: Agriculture, land use change, optimal control, potential forest cover, deforestation, cattle grassing.

INTRODUCCIÓN

La reducción de la cubierta forestal de los países en desarrollo debida al cambio en el uso del suelo para actividades agrícolas y ganaderas es uno de los problemas más preocupantes, entre otras cosas, por su relación con el calentamiento global del planeta (Barbier *et al.*, 1991; Centeno, 1997a; Centeno, 1997b; Freeman, 1997; Karl *et al.*, 1997; Kuhn, 1997; Schneider, 1997 y López *et al.*, 1998).

La conciencia sobre este problema tiene ya bastantes años. Sánchez (1987) resumía en tres puntos la problemática en el medio rural de México:

- 1) La deforestación por actividades agropecuarias expansivas y mal planificadas.
- 2) La consecuente erosión hídrica y desertificación.
- 3) La pérdida del patrimonio biológico.

Así, el avance de la frontera agrícola y ganadera, entre otras acciones humanas, ponen en peligro la existencia de muchas especies silvestres tanto vegetales como animales (Toledo, 1988; SEMARNAP, 1997); por ello es necesario determinar en qué medida esas acciones contribuyen a mantener o acrecentar este problema con el propósito de proponer soluciones integrales. Es decir, evaluar el fenómeno de la

deforestación en función de las actividades agropecuarias, ayudaría a conocer el impacto y el comportamiento futuro del fenómeno.

El objetivo fundamental del presente trabajo fue determinar el efecto de las actividades agrícolas y pecuarias sobre la cubierta forestal. El análisis se realizó con un modelo originalmente desarrollado por S. Ehui y T. Hertel (1989) mismo que ha sido modificado para incluir datos e información procedente de los sectores agrícola y ganadero, mediante el uso de datos de series de corte transversal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo propuesto asume un planificador que maximiza la utilidad actual derivada de una serie de beneficios agregados en un horizonte infinito de planeación, sujetos a cambios en la cubierta forestal en el tiempo. Los beneficios agregados se derivan de las producciones agrícola, pecuaria y forestal; además, se consideran las tierras forestales y deforestadas como fuentes de futuros beneficios. La función objetivo se expresa como:

$$\max_{D_A, D_G, X_A, X_G} W = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} \{U[\pi(D_A, D_G, X_A, X_G, F)]\} dt \dots\dots\dots(1)$$

Sujeto a:

$$\Pi = P_F(t) * F(t) + [L_A - F_A(t)] [P_A(t) * Z\{D_A(t), F_A(0) - F_A(t), X_A(t)\} - P_{XA} X_A(t)] + [L_G - F_G(t)] * P_G(t) Y\{D_G(t), F_G(0) - F_G(t), X_G(t), PP(t)\} - P_{XG} X_G(t) \dots\dots\dots(2)$$

$$F_A = -D_A(t) \dots\dots\dots(3)$$

$$F_G = -D_G(t)$$

$$F_A(t), F_G(t), D_A(t), D_G(t), X_A(t), X_G(t) \geq 0 \dots\dots\dots(4)$$

$$F_A(0) + F_G(0) = F(0) \dots\dots\dots(5)$$

$$L_A = L_G = \bar{L} \dots\dots\dots(6)$$

$$D_A(t) + D_G(t) = D(t) \dots\dots\dots(7)$$

En donde: W (en 1) es una medida del valor presente de los beneficios; δ es la tasa social de descuento; U es una función de beneficios doblemente diferenciable y que depende de los beneficios agregados π de la ecuación 2. Los beneficios de la ecuación 2 son la suma de ingresos netos obtenidos por actividades

forestales, agrícolas y ganaderas (para producción de carne). L_A representa el área arable total y L_G es el área total disponible para actividades ganaderas. $F(t)$ corresponde a la cubierta forestal potencial total al tiempo t ; mientras que $F_A(t)$ es el área de bosque que puede ser usada con fines agrícolas (superficie forestal potencial agrícola). Por lo que $[L_A - F_A(t)]$ es la superficie dedicada a la agricultura al tiempo t .

Para el caso de la ganadería $F_G(t)$ representa el área forestal susceptible de ser utilizada en actividades de ganadería, y $[L_G - F_G(t)]$ el área dedicada a la ganadería al tiempo t .

$Z(\cdot)$ es una función de producción cóncava para el sector agrícola; en tanto que $Y(\cdot)$ es la correspondiente para el sector ganadero. Cada una de las funciones de producción depende de insumos ($X_A(t)$ en agricultura y $X_G(t)$ en ganadería). $D(t)$ es la tasa total de deforestación, la cual puede ser por motivos agrícolas $D_A(t)$ o por ganadería $D_G(t)$. La diferencia $[F_i(0) - F_i(t)]$ es la superficie deforestada que se va incorporando a cada uno de los sectores, mientras que $PP(t)$ representa la precipitación anual en el tiempo t . Las variables P_A, P_G representan precios por unidad (kg, Ton) de la producción agrícola y ganadera en el tiempo t respectivamente. $P_F(t)$ es el ingreso por hectárea en tiempo t .

En la ecuación 2 también se considera el costo de los insumos expresado como P_{XA} en agricultura y P_{XG} en ganadería.

Funciones de producción

Se asumieron formas cuadráticas para representar la producción en los sectores agrícola y pecuario.

Sector agrícola:

$$Z(t) = \alpha_0 + \alpha_1[X_A(t)] + \alpha_2[D_A(t)] + \alpha_3[F_A(0) - F_A(t)] + \alpha_4[AT] + 1/2\alpha_{11}[X_A(t)]^2 + 1/2\alpha_{22}[D_A(t)]^2 + \alpha_{12}[D_A(t)X_A(t)] \dots \dots \dots (8)$$

Sector ganadero:

$$Y(t) = \beta_0 + \beta_1[X_G(t)] + \beta_2[D_G(t)] + \beta_3[F_G(0) - F_G(t)] + \beta_4[LT] + \beta_5[PP(t)] + \beta_6[D(y)] + 1/2\beta_{11}[X_G(t)]^2 + 1/2\beta_{22}[D_G(t)]^2 + \beta_{12}[D_G(t)X_G(t)] \dots \dots \dots (9)$$

Z y Y son dos funciones de producción para las actividades agrícolas y ganaderas respectivamente. Cada una de las funciones depende de los insumos representados por $X_A(t)$ (agricultura) y $X_G(t)$ (ganadería); los insumos para el sector agrícola se calcularon con base en la superficie dedicada a la agricultura ponderada con la producción de maíz en diferentes condiciones de riego, mientras que para el sector ganadero, los insumos necesarios para la producción de carne se integraron con la cantidad de alimento en kilogramos de materia seca aprovechable por cabeza de ganado. Ambas ecuaciones (8 y 9) incluyen el efecto diferencial de la deforestación debida a cada sector sobre la producción agrícola y ganadera; $D(t)$ representa la tasa total de deforestación tanto por la agricultura (D_A), como por la ganadería (D_G).

Las diferencias $[F_A(0)-F_A(t)]$ y $[F_G(0)-F_G(t)]$ en cada una de las funciones de producción indican la cantidad de tierra deforestada que se ha incorporado a las actividades agrícola y ganadera respectivamente, desde el punto inicial hasta el presente.

En $Y(t)$ aparece la variable PP que representa la precipitación en el tiempo t y $D(y)$ que es una variable dicotómica que permite diferenciar las observaciones en el primero y segundo período de deforestación.

El avance tecnológico es considerado al incluir en la función agrícola la variable AT , definida como el número de tractores por ha. Para el sector ganadero la variable correspondiente es LT , que representa la producción de leche en millones de metros cúbicos. Se espera que al aumentar el nivel tecnológico, la producción se incremente. Los signos de los parámetros de la variable interacción insumos-deforestación, tienen que ver con que el proceso de deforestación es análogo a la fertilización y al suministro de forraje.

Los signos esperados de los parámetros son:

α_0 y $\beta_0 \geq 0$ constituyen la asíntota.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_4, \beta_1, \beta_2, \beta_4, \beta_5 \geq 0$ indican que incrementos en estas variables (insumos, superficie deforestada y nivel tecnológico) conllevan a una mayor producción.

Las siguientes condiciones representan los rendimientos decrecientes de la producción, esto es:

$\alpha_3, \alpha_{11}, \alpha_{22}, \alpha_{12}$ y $\beta_3, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{12} \leq 0$

Teóricamente estos signos se justifican ya que cada función de producción debe de cumplir con varias condiciones. Así, tanto la producción agrícola, como

la ganadera muestran un incremento a medida que los insumos aumentan, bajo una disminución de la producción marginal que cualquier sistema de producción presenta. Las condiciones para estos supuestos son:

$$\frac{\partial Z}{\partial X_A(t)} > 0 \dots\dots\dots(10)$$

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial X_A^2(t)} < 0$$

$$\frac{\partial Y}{\partial X_P(t)} > 0 \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_P^2(t)} < 0$$

Las siguientes condiciones indican que a medida que se substituyen las tierras forestales por la producción agrícola se obtienen menos rendimientos; esto se debe a que dichas adiciones son cada vez más marginales por su baja calidad ambiental para la producción agrícola y por su difícil acceso.

Sector agrícola:

$$\frac{\partial Z}{\partial D_A(t)} > 0 \dots\dots\dots(12)$$

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial D_A^2(t)} < 0 \dots\dots\dots(13)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial [F_A(0) - F_A(t)]} < 0 \dots\dots\dots(14)$$

El modelo supone pastoreo de ganado ovino, caprino y bovino para la producción de carne. Al considerar un pastoreo desordenado y una mala administración de los pastos, se favorece que tierras de aptitud forestal lejanas y sin la infraestructura necesaria de accesibilidad sean destinadas al pastoreo, por lo que los rendimientos decrecen a medida que tierras cada vez más marginales se incorporan al sector. Estos efectos generan las siguientes condiciones en la producción ganadera:

$$\frac{\partial Y}{\partial D_G(t)} > 0 \dots\dots\dots(15)$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial D_G^2(t)} < 0 \dots\dots\dots(16)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial [F_G(0) - F_G(t)]} < 0 \dots\dots\dots(17)$$

Las funciones para los sectores agrícola y ganadero no son aproximaciones completas de segundo orden, debido a la falta de información suficiente y a la

necesidad de mantener una estructura sencilla en los modelos. Por lo tanto, para facilitar algunos resultados, las siguientes condiciones se asumen igual a cero:

$$\begin{aligned} \partial^2 Y / \partial F_G^2(t) &= 0 \\ \partial^2 X / \partial F_A^2(t) &= 0 \\ \partial^2 Y / \partial F_G(t) \partial X_G(t) &= 0 \\ \partial^2 Z / \partial F_A(t) \partial X_A(t) &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(18)$$

De lo anterior se desprende que se excluyen de las funciones de producción, el termino cuadrático de la deforestación acumulada por cada sector (F_A^2 y F_G^2) y la interacción de la deforestación acumulada con los insumos.

Solución en el estado estacionario

El valor actual del hamiltoniano asociado al modelo tiene la siguiente forma:

$$\tilde{H} = W[\Pi(D_A, D_G, X_A, X_G, F)] - \lambda D_A(t) - \mu D_G(t) \dots\dots\dots(19)$$

Siendo λ y μ variables de coestado (equivalentes dinámicos de los multiplicadores de Lagrange), variables que representan el valor de las variables asociadas con el par de ecuaciones en (3).

Sí se asume la existencia de una solución interior y se considera el principio del máximo, las condiciones de optimización son:

$$\Pi_{XA} = W_{\Pi}[(L_A - F_A(t))(P_A Z_{XA} - P_{XA})] = 0 \dots\dots\dots(20)$$

$$\Pi_{XG} = W_{\Pi}[(L_G - F_G(t))(P_G Y_{XG} - P_{XG})] = 0 \dots\dots\dots(21)$$

En cuanto a la tasa de deforestación producida por la colonización agrícola y pecuaria, esta puede ser establecida de modo que la utilidad marginal de la deforestación sea igual al costo de oportunidad de los recursos forestales existentes en ese momento.

$$\Pi_{DA} = W_{\Pi}[(L_A - F_A(t))(P_A Z_{DA} - P_{XA})] = \lambda \text{ (agricultura)} \dots\dots\dots(22)$$

$$\Pi_{DG} = W_{\Pi}[(L_G - F_G(t))(P_G Y_{DG} - P_{XG})] = \mu \text{ (ganadería)} \dots\dots\dots(23)$$

De igual forma, los recursos forestales podrán ser empleados en el momento en que la utilidad marginal del capital forestal sea igual al costo social del capital. Así, las ecuaciones para las variables de coestado tanto para agricultura, como para ganadería son:

Sector agrícola:

$$-\dot{\Pi}_{FA} = \lambda - \delta\lambda = W_{\Pi} [P_{FA} + (L_A - F_A(t))(P_A Z_{FA}) - (P_A Z) + (P_A X_A)] \dots\dots\dots(24)$$

Sector ganadero (restringida solo a producción de carne):

$$-\dot{\Pi}_{FG} = \mu - \delta\mu = W_{\Pi} [P_{FG} + (L_G - F_G(t))(P_G Y_{FG}) - (P_G Y) + (P_G X_G)] \dots\dots\dots(25)$$

Donde δ es la tasa de interés con las siguientes condiciones de transversalidad:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\delta t} \lambda(t) F_A(t) = 0 \dots\dots\dots(26)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\delta t} \mu(t) F_G(t) = 0 \dots\dots\dots(27)$$

La tasa neta de deforestación en el estado estacionario, es necesariamente igual a cero, $D(t)=0$ por lo tanto $D_A(t)$ y $D_G(t)$ son iguales a cero.

Así, al usar las ecuaciones anteriores, la cubierta forestal potencial en el estado estacionario se puede definir a partir de condiciones de primer orden.

Sector agrícola:

$$\frac{1}{\delta} W_{FA}(D_A, F_A, X_G, X_A) = W_{DA}(D_A, F_A, X_G X_A) \dots\dots\dots(28)$$

Sector ganadero:

$$\frac{1}{\delta} W_{FG}(D_G, F_G, X_G, X_A) = W_{DG}(D_G, F_G, X_G X_A) \dots\dots\dots(29)$$

Donde W_{FA} y W_{FG} representan los motivos de conservación y W_{DA} W_{DG} son la preferencia para deforestar proveniente de los sectores agrícola y ganadero respectivamente.

El lado izquierdo de las ecuaciones 28 y 29 son el valor presente del flujo de utilidades marginales de rentas económicamente sustentables provenientes de cada

sector, mientras que, en el lado derecho, aparece la utilidad marginal de la deforestación producida al llevarse a cabo cada actividad.

Esto significa que en el estado estacionario la utilidad marginal de una deforestación adicional, puede ser igual al valor presente de los beneficios futuros marginales de los que se abstendrá por renunciar a un uso de suelo determinado. Esto tiene relación con el costo de oportunidad, o ganancias que se dejan de obtener por una toma de decisión presente para cambio de uso de suelo.

La solución de las ecuaciones 30 y 31 permite conocer la cubierta forestal potencial en estado estacionario. Estas ecuaciones muestran la condición de equilibrio básico en la teoría de la producción.

Sector agrícola:

$$Z_{XA}(D_A, F_A, X_A) = P_{XA}/P_A \dots\dots\dots(30)$$

Sector ganadero:

$$Z_{XG}(D_G, F_G, X_G) = P_{XG}/P_G \dots\dots\dots(31)$$

Obtención de la cubierta forestal potencial en el estado estacionario.

Ehui y Hertel (1989) propusieron las ecuaciones para determinar la cubierta forestal potencial en estado estacionario, la cual está en función del cambio de uso de suelo para agricultura y ganadería.

La solución de las ecuaciones 32 y 33 permite obtener el grado óptimo de los insumos X_A^* y X_G^* .

Sector agrícola:

$$\bar{P}_{XA} = P_{XA}/P_A \Rightarrow X_A^* = \frac{\bar{P}_{XA} - \alpha_1}{\alpha_{11}} \dots\dots\dots(32)$$

Sector ganadero:

$$\bar{P}_{XG} = P_{XG}/P_G \Rightarrow X_G^* = \frac{\bar{P}_{XG} - \beta_1}{\beta_{11}} \dots\dots\dots(33)$$

En las cuales \tilde{P}_{XA} y \tilde{P}_{XG} son los costos de los insumos agrícolas y ganaderos con relación a los ingresos de la producción agrícola y ganadera respectivamente.

Suponiendo que en el estado estacionario el cambio en la cubierta forestal es cero y al resolver para F_A^* y F_P^* en las ecuaciones 34 y 37, el área de bosques que puede ser usada con fines agrícolas o ganaderos se calcula de la siguiente manera:

Sector agrícola:

$$F_A^* = F_A(0) + \frac{\Delta}{\Omega} + \frac{(\Omega - \alpha_3) * A}{\Omega} \dots\dots\dots(34)$$

Donde:

$$\Delta = \alpha_0 + \alpha_1 X_A^* + \frac{1}{2} \alpha_{11} X_A^* + \alpha_4 AT + \alpha_5 PF - \bar{P}_{XA} X_A^* - \bar{P}_{FA} \dots\dots\dots(35)$$

$$\Omega = \gamma(\alpha_2 + \alpha_{12} X_A^*) + 2\alpha_3$$

\bar{P}_{FA} son los ingresos por hectárea de actividades forestales en correspondencia con el precio de la producción agrícola P_F/P_{XA} y $A = L_A - F_A(0) \dots\dots\dots(36)$

Sector ganadero:

$$F_G^* = F_G(0) + \frac{\Gamma}{\Theta} + \frac{(\Theta - \beta_3) * B}{\Theta} \dots\dots\dots(37)$$

Donde:

$$\Gamma = \beta_0 + \beta_1 X_G^* + \frac{1}{2} \beta_{11} X_G^* + \beta_4 LT + \beta_5 PF - \bar{P}_{XG} X_G^* - \bar{P}_{FG} \dots\dots\dots(38)$$

$$\Theta = \gamma(\beta_2 + \beta_{12} X_G^*) + 2\beta_3$$

\bar{P}_{FG} son los ingresos por ha de actividades forestales en correspondencia con el precio de la producción ganadera P_F/P_{XG} y $B = L_G - F_G(0) \dots\dots\dots(39)$

Recopilación de información

Para el ajuste de los modelos se consideraron dos medidas de deforestación obtenidas a partir de la diferencia de la cubierta forestal en el ámbito estatal

(excepto el Distrito Federal) entre las mediciones de los tres inventarios forestales existentes a la fecha (SARH, 1992; 1994a). La información de precios y valores de la producción se obtuvo de los Anuarios Estadísticos de la Producción Forestal (SARH, 1994b; SAGAR, 1995a).

Del sector agrícola se recopiló información correspondiente a la producción de arroz, cebada, frijol, maíz, papa, sorgo y trigo. Los datos de nivel tecnológico, precios, rendimiento, producción y superficie de los cultivos seleccionados, se obtuvieron de los Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos de los años 1980 y 1994 (SARH, 1980; SAGAR, 1995b).

La superficie dedicada a la agricultura fue utilizada como una aproximación de los insumos agrícolas; esta superficie se ponderó con la producción de maíz obtenida para cada uno de los estados. Considerando que tal superficie podría ser bajo riego o sin riego, se obtuvo la siguiente variable:

$$X_A = \frac{y_i * L_i + y_n * L_n}{y_n}$$

En donde y representa la producción de maíz en cada tipo de superficie (i : irrigada, n : no irrigada) y L la cantidad de superficie agrícola en cada condición de riego.

La producción agregada de los cultivos agrícolas seleccionados y de la producción de carne en pie se estimó como la media geométrica de los siguientes índices:

$$I_{90} = \frac{\sum_j p_{jtk} q_{jtk}}{\max_k [\sum_j p_{j90k} q_{j90k}]}$$

$$I_{94} = \frac{\sum_j p_{jtk} q_{jtk}}{\max_k [\sum_j p_{j94k} q_{j94k}]}$$

En donde I_{90} e I_{94} son índices cuantitativos de precios indexados a 1990 y 1994 respectivamente. Los valores p_{jtk} y q_{jtk} corresponden al precio y la cantidad del bien jtk en el tiempo t (indexado de acuerdo al año base definido por el índice

en 1990 o 1994) y producido en el estado k . El índice de producción fue entonces estimado como:

$$I = \sqrt{I_{90} * I_{94}}$$

La función de producción agregada por estado para el sector ganadero incluyó solo producción de carne en pie de ganado bovino, ovino y caprino. Los datos de los inventarios de cabezas de ganado, producción, rendimiento y precios de carne en pie, así como de la producción de leche fueron tomados de SARH (1994c) y SAGAR (1996).

Para estimar la cantidad de forraje producido por la superficie ganadera se usó información de productividad y de los coeficientes de agostadero (SAGAR 1998); el valor de forraje por cabeza de ganado se estimó como precio real por tonelada (Guerra, 1995).

La precipitación anual fue considerada otro insumo importante en la función de producción de ganadería y se obtuvo de la base de datos publicada por Quintas (1996).

Ajuste de los modelos a la base de datos

Las funciones de producción tanto agrícola como ganadera se graficaron para observar su comportamiento ante diferentes niveles de insumos aplicados y verificar la disminución de los rendimientos.

Para ajustar las funciones de producción agrícola y ganadera a la base de datos se normalizaron los índices de producción mediante una transformación Box-Cox y posteriormente se utilizó el método de mínimos cuadrados de regresión lineal, por el procedimiento *regression* del paquete SAS (*Statistical Analysis System*) versión 6.03. El supuesto de no autocorrelación espacial de los residuales se confirmó con la prueba D de Durbin-Watson.

Obtención de la cubierta forestal potencial en el estado estacionario y simulación.

Al emplear los parámetros de las ecuaciones ajustadas se obtuvo la cubierta forestal potencial para cada sector y se evaluaron en el siguiente orden: ingresos y costos, niveles óptimos de insumos y la solución final en el estado estacionario.

Los ingresos anuales promedio de producción agrícola (P_A) y ganadera (P_G) se calcularon como valores reales promedio de la producción anual por tonelada. Los ingresos anuales por actividades forestales (P_F) se consideraron como el valor anual real promedio de todas las especies maderables por hectárea.

Los precios de los insumos en el caso del sector agrícola fueron obtenidos de inventarios como precios reales promedio de fertilizante por tonelada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos ajustados

El ajuste de los modelos proporcionó los siguientes resultados:

a) Sector agrícola:

$$Z(t) = 2.2961 + 0.001896X_A(t) + 0.0263D_A(t) - 0.0032[F_A(0)-F_A(t)] +$$

(7.288) (2.584) (1.027) (-2.133)

$$1.30075AT(t) - 0.363X_A^2(t) - 0.000237D_A^2(t) -$$

(3.361) (-0.830) (-2.330)

$$0.01737X_A(t)*D_A(t)$$

(-0.897)

$$Fc=13.59 \quad R^2=0.662 \quad DW=1.967 \quad n=62$$

b) Sector ganadero:

$$Y(t) = 0.800263 + 0.001462X_L(t) - 0.007364D_L(t) +$$

(2.685) (5.032) (-2.325)

$$0.000354[F_L(0)-F_L(t)] + 1.7962LT(t) - 0.2581X_L^2(t) +$$

(-1.789) (4.679) (-3.638)

$$6.8341D_L^2(t) + 0.97648X_L(t)*D_L(t) + 0.000461PP -$$

(1.701) (1.953) (2.259)

$$0.5732D(y)$$

(-2.821)

$$Fc=14.732 \quad R^2=0.7682 \quad DW=1.914 \quad n=62$$

En ambas ecuaciones los números entre paréntesis muestran los valores de t para cada parámetro estimado.

Para la función agrícola se obtuvieron todos los signos esperados para todos los parámetros estimados. Sin embargo, la deforestación (D_A) y los insumos al cuadrado no son estadísticamente significativos. El nivel de significancia para D_A^2 confirma que la deforestación aumenta la producción agrícola a una tasa decreciente; por otra parte, el bajo nivel de significancia para X_A^2 sugiere que la función de producción agrícola no es cóncava. No obstante, este resultado puede deberse tanto a los intervalos de valores usados para ajustar el modelo, como a la forma en que los insumos son estimados.

La función de producción del sector ganadero muestra algunos parámetros con signos diferentes a lo esperado. Tal es el caso de los valores de D_G y D_G^2 , lo que indica que la función de producción en el intervalo considerado por los datos es convexa con respecto a la deforestación, *i.e.*, a medida que la deforestación se incrementa la producción aumenta a una tasa creciente. De acuerdo con este comportamiento, el parámetro [$F_G(0) - F_G(t)$] es positivo, lo que significa que la superficie que se va incorporando al sector ganadero no es marginal y conlleva a un incremento mayor de la producción en este sector.

Simulación

Con base en los resultados del ajuste de las funciones de producción, se estimaron las existencias forestales potenciales agrícola y ganadera en el estado estacionario definidas como F^* , mediante la suma de la cubierta potencial de todos los estados. Tal valor se calculó duplicando y cuadruplicando precios de la producción agrícola (Cuadro 1) y ganadera (Cuadro 2) con diferentes tasas de interés.

Bajo todas las condiciones anteriores, los valores de los cuadros 1 y 2 representan la sumatoria de la cubierta forestal estatal en el ámbito nacional. Los resultados muestran que los incrementos en la tasa de interés ejercen un mayor efecto en el cambio de uso de suelo al sector ganadero que al agrícola. Esto probablemente es debido al hecho de que la producción ganadera genera ingresos más altos que la producción agrícola por unidad de superficie, especialmente en tierras forestales, las cuales son marginales para el sector agrícola, pero no para la ganadería.

El efecto de los precios es diferente. Se observa que un incremento en el precio agrícola induce una mayor reducción en la cubierta forestal potencial, que el mismo incremento proporcional de precio en el sector ganadero. Este

Cuadro 1. Cambios en la cubierta forestal potencial agrícola con tasas diferentes de interés.

Tasa de interés (γ)	Cubierta forestal potencial agrícola (F_A^*) en miles de ha		
	P_A Precios originales	$2P_A$	$4P_A$
0.03	15080.132	14153.9998	11812.3216
0.05	12920.4475	10663.8107	3186.9745
0.07	9877.9857	4774.975	-25772.7836
0.09	5272.2308	-7286.4608	-
0.11	-2519.229	-46063.9709	-

$2P_A$: precio duplicado de la producción agrícola

$4P_A$: precio cuadruplicado de la producción agrícola

Cuadro 2. Cambios en la cubierta forestal potencial ganadera con diferentes tasas de interés.

Tasa de interés (γ)	Cubierta forestal potencial ganadera (F_G^*) en miles de ha		
	P_G Precios originales	$2P_G$	$4P_G$
0.03	53565.921	53564.315	53561.101
0.04	38714.727	38712.834	38709.048
0.05	17426.557	17424.255	17419.65
0.06	-15641.449	-15644.388	-15650.266
0.07	-74006.858	-74010.92	-74019.044

$2P_G$: precio duplicado de la producción ganadera

$4P_G$: precio cuadruplicado de la producción ganadera

resultado puede explicarse por el hecho de que al ser la ganadería una actividad extensiva, un incremento en el precio puede interpretarse como un efecto a corto plazo sin cambiar la superficie dedicada a tal actividad, mientras que para la agricultura, por ser una actividad anual y más intensiva que la ganadera, el cambio en los precios tiene un impacto mayor.

La implicación política de estos resultados muestra que un programa de incentivos en el sector agrícola es probable que produzca mayor deforestación que un programa de incentivos en el sector ganadero. La estabilización de precios reales disminuirá los motivos que conllevan al cambio de uso de suelo.

En las mismas condiciones se realizó la simulación con la variación de los precios de la producción forestal (Cuadro 3); se observó que la cubierta forestal en ambos sectores fue poco sensible a tales cambios y presentó incrementos casi imperceptibles.

Por último, se simuló la cubierta forestal variando el nivel tecnológico en ambos sectores. Los cuadros 4 y 5 muestran el efecto de la tecnología en el cambio de uso de suelo; tales variaciones no tienen mayor efecto sobre la cubierta forestal potencial. Este resultado confirma que al incrementar la productividad agrícola y ganadera es posible reducir la deforestación inducida por causas de mercado. Finalmente todos los cuadros indican que las condiciones actuales de la cubierta forestal actual pueden conservarse a tasas de interés que van de 3.4 - 4 %. Condiciones de mercado con tasas de interés por arriba de 5.5 % conducen a la deforestación.

La información presentada en los cuadros 1, 2 y 3 ratifica el supuesto de que la deforestación en México al igual que en algunos otros países tropicales latinoamericanos se debe, principalmente, a cambios en el uso del suelo de forestal a ganadero. Esta suposición ha sido documentada en trabajos como los de Toledo (1988), Villafuerte *et al.* (1993) y Cairns *et al.* (1995).

Hay evidencia del auge extensivo del sector ganadero a expensas del cambio de uso del suelo forestal; para Villafuerte *et al.* (1993) este auge no es resultado de un proceso de tecnificación de las explotaciones, sino más bien de la ampliación de las áreas ganaderas bajo el incentivo de varios factores, tales como: marco jurídico, políticas agrarias de fomento ganadero (como aquellas que refuerzan a la gran propiedad); también hay que incluir las perspectivas favorables del mercado junto con créditos abundantes a bajas tasas de interés y buenos precios relativos. Cabe señalar que muchos de estos incentivos se han mantenido hasta años recientes.

Cuadro 3. Cambios en la cubierta forestal potencial agrícola y ganadera como respuesta a diferentes precios de la producción forestal y tasas de interés.

Tasa de interés (γ)	F_A/P_F	F_G/P_F	$(F_G+F_A)/P_F$	$F_A/2P_F$	$F_G/2P_F$	$(F_G+F_A)/2P_F$	$F_A/4P_F$	$F_G/4P_F$
0.03	15080.13	53565.92	68646.05	15080.14	53566.72	68646.87	15080.17	53567.11
0.05	12920.44	17426.55	30347.00	12920.46	17427.70	30348.17	12920.50	17428.23
0.07	9877.98	-74006.85	-64128.87	9878.01	-74004.82	-64126.81	9878.05	-74004.02

F_A : cubierta forestal potencial agrícola

F_G : cubierta potencial ganadera

P_F : precio de la producción forestal

$2P_F$: precio duplicado de la producción forestal

$4P_F$: precio cuadruplicado de la producción forestal

Cuadro 4. Cambios en la cubierta forestal potencial agrícola en diferentes niveles tecnológicos

Tasa de interés (γ)	Cubierta forestal potencial agrícola (F_A^*) en miles de ha		
	F_A Valores originales	2AT	4AT
0.03	15080.132	15077.8221	15073.2024
0.05	12920.4475	12917.7468	12912.3454
0.07	9877.9857	9874.735	9868.2335
0.09	5272.2308	5268.1486	5259.9842
0.11	-2519.229	-2524.7157	-2535.6872

2AT: nivel tecnológico en el sector agrícola duplicado

4AT: nivel tecnológico en el sector agrícola cuadruplicado

Cuadro 5. Cambios en la cubierta forestal potencial ganadera en respuesta a diferentes niveles tecnológicos

Tasa de interés (γ)	Cubierta forestal potencial ganadera (F_G^*) en miles de ha		
	F_G Valores originales	2LT	4LT
0.03	53565.921	53554.403	53548.651
0.04	38714.727	38701.147	38694.37
0.05	17426.557	17410.018	17401.773
0.06	-15641.449	-15662.598	-15673.045

2LT: nivel tecnológico en el sector ganadero duplicado

4LT: nivel tecnológico en el sector ganadero cuadruplicado

CONCLUSIONES

Los incrementos en las tasas de interés y en los precios del sector agrícola y ganadero disminuyen el motivo de conservación de la cubierta forestal potencial y aumentan los beneficios provenientes del cambio de uso del suelo, con la consecuente disminución de la cubierta forestal.

La superficie forestal potencial incorporada al sector ganadero permanece altamente productiva, al menos en el intervalo de tiempo analizado; por el contrario en el sector agrícola la superficie incorporada es marginal. Esto ocasiona que el sector ganadero favorezca más el cambio de uso de suelo.

Los incrementos en el valor de los productos forestales maderables no tienen mayor efecto en disminuir la deforestación, por lo que otras actividades y usos como la recreación y el aprovechamiento de productos forestales no maderables que pudieran aumentar el valor por hectárea, tienen menor posibilidad de disminuir el cambio del uso del suelo al agrícola y ganadero.

REFERENCIAS

- Barbier, E. B., J. Burguess and A. Markandya. 1991. The economics of tropical deforestation. *Ambio* 20 (2): 55-58
- Cairns, A., R. Dirzo y F. Zadroga. 1995. Forests of Mexico. *Journal of Forestry* 93 (7): 21-24
- Centeno, J. C. 1997a. Caen los bosques en Venezuela. <http://www.ciens.ula.ve/~jcenteno>
- Centeno, J. C. 1997b. El efecto invernadero. <http://www.ciens.ula.ve/~centeno>
- Ehui, S. and T. Hertel. 1989. Deforestation and agricultural productivity of the Côte d'Ivoire. *American Journal of Agricultural Economics* 71 (3): 703-711.
- Freeman, M. 1997. Defeat the Kyoto Protocol. *21st Century Science & Technology* 10 (4): 84-85.
- Guerra de la Cruz, V. 1995. Determinación del nivel óptimo de producción combinada de madera y forraje en rodales de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México 82 p.
- Karl, T., N. Nichols and J. Gregory. 1997. The coming climate. *Scientific American* 276 (5): 56-59.
- Kuhn, G. 1997. The impact of volcanic eruptions on worldwide weather. *21st Century Science & Technology* 10 (4): 48-58.

- López, M., N. Rosenber, D. Legler, A. Ruiz, R. Shrinivasan, R. Brown, G. García, M. Velásquez y C. Izaurralde. 1998. Algunos efectos del fenómeno climático "El Niño" en la agricultura mexicana. *Ciencia y Desarrollo*. 25 (139): 5-13.
- Quintas, L. 1996. Extractor rápido de información climatológica (ERIC): Manual del usuario. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Colección Proyectos IMTA. 56 p.
- SAGAR. 1995a. Anuario estadístico de la producción forestal 1994. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Subsecretaría de Planeación. México D. F. 200 p.
- SAGAR. 1995b. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos 1994. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Subsecretaría de Planeación. México. 698 p.
- SAGAR. 1998. Programa de praderas y agostaderos 1995-2000. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Subsecretaría de Agricultura y Ganadería. Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostaderos. México D. F. 100 p.
- SARH. 1980. Anuario Estadístico de la Producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección General de Economía Agrícola. México, D.F. 287p.
- SARH. 1992. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría Forestal. México, D.F. 53 p.
- SARH. 1994a. Inventario Nacional Forestal Periódico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría Forestal. Subsecretaría de Planeación. México, D. F. 81 p.
- SARH. 1994b. Compendio estadístico de la producción forestal 1994. Secretaría de Agricultura y Recursos hidráulicos. Subsecretaría de Planeación. México D. F. 210 p.
- SARH. 1994c. Compendio estadístico de la producción pecuaria de los Estados Unidos Mexicanos 1989-1993. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Planeación. México D. F. 158 p.
- SEMARNAP. 1997. Programa de conservación de la vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 207 p.
- Schneider, D. 1997. The rising seas. *Scientific American* 276 (3): 96-101.
- Toledo, V. M. 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo* 81: 17-30
- Villafuerte S. D., M. García y S. Meza. 1993. Deforestación en el trópico mexicano y sus expresiones en el estado de Chiapas. Proyecto realizado por convenio CINVESTAV-PROAFT (SARH). CINVESTAV. México, D.F. 85 p.

COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO Y RENTABILIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCION DE TRIPLAY

David Zavala Zavala¹ y Alfredo Corral Martínez²

RESUMEN

La industria forestal debe lograr su máxima utilidad económica mediante la reducción de los costos de producción del incremento de los coeficientes de aprovechamiento (CA), conforme a las características de la materia prima, para poder ser competitiva. En el presente trabajo se determinó el CA de triplay con 180 trozas y se observó una relación directa de la calidad y el diámetro de las trozas con la calidad y volumen de la chapa generada. Para calcular la rentabilidad del proceso de producción de triplay, se consideró la información sobre el precio de la trocería libre a bordo en patio (LAB) y la proporción de calidades de 33% para clase 2M y 3; y de 67% para trocería 4 y 5, a las que se les definió un precio de \$ 1,412.12/m³r y de \$ 700.00/m³r respectivamente. Con la integración del precio de la madera y el gasto de producción de la chapa, se obtuvo el costo de elaboración de cada tipo de triplay, que varió de \$ 36.05 para el de 3 mm de espesor, hasta \$ 176.97 para el de 19 mm. Esta información y los precios de venta en el mercado de las distintas calidades y espesores del triplay, permitieron estimar las utilidades que se generan por cada tipo de tablero, que para el caso del triplay clase BD de 3 mm de espesor fue de \$ 33.34 y de \$ 102.78 para el de 19 mm.

Palabras clave: Coeficiente de aprovechamiento, chapa, industria forestal, precio, rentabilidad, triplay.

ABSTRACT

In order to be competitive, the forest industry must maximize its revenue through the reduction of the production costs and by increasing the recovery factor,

Fecha de recepción: 7 de septiembre de 2000

Fecha de aceptación: 15 de agosto de 2002

¹ INIFAP CENID-COMEF, Progreso No. 5, Viveros de Coyoacán, 04110 Del. Coyoacán, México, D. F. correo- e: zavalad@inifap2.inifap.conacyt.mx

² Comunidad el Tarahumar y Bajios del Tarahumar. Complejo Industrial, Santiago Papasquiaro, Durango.

according to the characteristics of the raw material. In this study, the plywood recovery factor (PRF) was determined with a log sample size of 180, a direct relationship was found between grades and diameters of the logs with the grades and volumes of veneer recovered. The revenue from plywood production was determined with the information of the free on board FOB log yard prices and the proportion of log quality, generating 33% of grades 2M and 3 and 67% of log grades 4 and 5; with a redefined price of \$ 1,412.12/ m³r and \$ 700.00 respectively. The production cost of each type of plywood was integrated with the log costs and the veneer production cost, which ranged from \$ 36.05 for the 3 mm plywood thickness to \$ 176.97 for the 19 mm. The revenue from each kind of plywood was determined with the integration of the plywood production cost and the selling plywood prices for the different grades and plywood thickness, which for the plywood graded as class BD, the revenue was \$ 33.34 for the 3 mm thickness, and \$ 102.78 for the 19 mm.

Key words: Forest industry, veneer, plywood, recovery factor, revenue, price.

INTRODUCCIÓN

El incremento de industrias forestales en el país ha repercutido en una mayor demanda de la materia prima y en una competencia más acentuada por los volúmenes y calidades de trocería disponibles, lo que se refleja en un aumento de los precios de la madera en rollo y en una reducción de los márgenes de rentabilidad. Entre las que compiten por la materia prima están la de aserrio y la de tableros contrachapados (triplay).

Los precios de la trocería, la oferta de triplay por un mayor número de fábricas que lo producen y el ingreso al país de tableros de importación, han impactado directamente sobre los márgenes de utilidad de las empresas, que requieren ser más competitivas para conservarse en el mercado. Para ello, deben mejorar su productividad en términos de calidad y volúmenes de triplay, y reducir los precios del mismo en el mercado.

Para que las empresas puedan permanecer en el mercado, deben ser rentables, con márgenes de utilidad que les permitan competir con otros procesos de industrialización. Para determinar la competitividad de las empresas, es necesario analizar la rentabilidad de los procesos de transformación en forma continua, realizando los ajustes en las áreas en que se puedan abatir costos y reducir los precios de sus productos.

Por lo general los costos de producción y la rentabilidad del triplay se determinan en forma global en periodos mensuales, analizando los costos y los

ingresos totales. Este procedimiento no permite definir la utilidad por tipo de trocería, ni tampoco los costos de cada área del proceso, lo que limita las posibilidades de análisis tendientes a optimizar la productividad a través de la reducción de los costos y del incremento de la producción por área de trabajo, lo que a su vez impide mejorar la relación materia prima -procesos -productos -utilidades. Para definir el uso óptimo de la trocería, se requiere de información precisa de los costos de la materia prima, de los costos de transformación, de la demanda y de los precios en el mercado de los productos que se derivan de cada tipo de troza, en este caso triplay en sus diferentes modalidades.

El propósito del estudio fue determinar la rentabilidad del proceso de producción de triplay, analizando los coeficientes de aprovechamiento de chapa de la trocería comúnmente utilizada para contrachapados, los precios de la trocería puesta en patio y los costos de producción de chapa por área de trabajo y de elaboración, comparados con los precios de venta de los diferentes tipos de tableros.

La industria de tableros contrachapados en México está integrada por 35 fábricas, con una capacidad de producción anual de 184 mil m³ (CNIF, 1993), la cual se puede incrementar modificando los sistemas de trabajo y actualizando los equipos, con lo que se lograría ser más competitivo en la productividad y en los precios en el mercado nacional e internacional (Zavala, 1990). La Subsecretaría Forestal y de la Fauna (1982) señala que el aprovechamiento de la capacidad instalada de la industria de chapa y contrachapados en 1976 era de 58.3%, en 1977 de 60.8% y en 1981 de 69.9%. Seguramente a la fecha esa proporción no ha cambiado, puesto que aun cuando se han dado avances tecnológicos en equipos y procesos en la industria de contrachapados, en México no se han adoptado y prácticamente se trabaja en la misma forma que en la década del ochenta (Zavala, 1990).

Para estudios de coeficiente de aprovechamiento (CA), que se define como la relación porcentual entre el volumen real del producto terminado y el volumen de materia prima procesada, generalmente se requiere cubicar las trozas, y en algunas ocasiones, también clasificarlas, como es el caso de este estudio. De los diferentes sistemas para cubicación de trocería, Zavala (1995), utilizó la fórmula de Smalian, midió los diámetros sin corteza en centímetros y determinó el volumen por la siguiente relación:

$$V = [(B+b) / 2] \times L$$

Donde:

- V = Volumen en m³
- B, b = Áreas de las cabezas de las trozas en m²
- L = Longitud de las trozas.

Sobre la proporción de chapa generada a partir de la trocería que se utilizó para producir triplay, Woodfin (1973) en su estudio realizado con 2,802 trozas determinó una pérdida de chapa en abeto douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) de 5.53% por redondeo, 6.11% de chapa rechazada, 21.79% de pérdida en la guillotina, un 9.35% por el bolo o rollito, 1.99% de chapa de recorte y un aprovechamiento de chapa seca en bruto de 52.02%. En el aprovechamiento de 698 trozas de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Laws) determinó los porcentajes para la pérdida de chapa de 11.29% por redondeo, 0.76% de chapa rechazada, 16.80% de pérdida en la guillotina, un 22.88% por el bolo o rollito, de 0.67% de chapa de recorte y un aprovechamiento de chapa seca en bruto de 44.98%. En este caso el bajo aprovechamiento se debió al reducido diámetro de las trozas que no rebasaron 20". Para la elaboración de triplay, Ruiz (1990) citó un coeficiente de aprovechamiento de 39.85%

La clasificación del triplay se determina por la calidad de la vista. En este sentido, Hernández y Hernández (1988), definen como A al que tiene vista de mejor calidad, B al de segunda calidad, C al de tercera calidad y D al de calidad más baja; estas vistas se diferencian por la presencia de nudos, grietas, manchas, ocote, picaduras y contraste de color, así como el número de parches que se les coloca para eliminar algunos de los defectos señalados. Zamudio (1977), describe la clasificación de la chapa para las calidades A, B, C, D y calidad "Centros". Indica que la clase A está prácticamente libre de cualquier defecto que demerite la apariencia de la chapa; la clase B puede presentar diferencias de color, manchas, nudos pequeños, pero no grietas ni zonas ásperas; la clase C tiene una mayor proporción de estos defectos, que se incrementan en la calidad D y en la calidad "Centros". La Subsecretaría Forestal y de la Fauna (1982), señala la clasificación utilizada en tableros contrachapados de pino, que incluye cinco clases: N, A, B, C y D. La N es muy similar a la A y ambas están libres de nudos, bolsas de resina, rajaduras y otros defectos. Las otras clases presentan ciertos porcentajes de estos defectos.

Sobre estudios de rentabilidad del proceso de producción de triplay, Spelter (1989) describe el procedimiento para determinar los costos del proceso de producción de triplay por centro de trabajo, los cuales representaron los siguientes porcentajes: costo en el patio de trocería 2.96%, en la descortezadora 2.58%, en el torno, guillotina y carros de apilado 17.43%, el costo de secado 21.26%, preparación de la chapa 11.68%, en engomadoras y prensado 20.97%, en dimensionado o escuadrado del tablero 1.24%, en resane y lijado de los tableros 9%, en almacenamiento y ventas 4.5%, en sellado de cantos 1.24% y en engomado 7.09%; estos costos no incluyen el precio de la madera. A la fecha es muy probable que la proporción de costos por centro de trabajo haya cambiado, por la adopción de los nuevos desarrollos tecnológicos tanto en los equipos como en los procesos.

Con la finalidad de facilitar el proceso de análisis para definir el uso óptimo de la chapa en función de la rentabilidad de los distintos tipos de tableros que se pueden elaborar con ella; Spelter (1991) describe el programa de cómputo VENVAL, mediante el cual se prepara la información del proceso de producción de triplay, considerando las distintas clases y espesores de la chapa que se pueden usar en los diferentes tipos de tableros. El modelo de programación lineal determina la mezcla óptima de los productos en función de las restricciones de los volúmenes de la materia prima, de la capacidad de producción y de la demanda en el mercado de cada tipo de triplay.

MATERIALES Y METODOS

En el presente estudio se trabajó trocería de *Pinus arizonica* Engelm., *P. durangensis* Martínez y *P. leiophylla* Schl. et Cham. El triplay se elaboró con la siguiente maquinaria: descortezadora marca Fulhum modelo 620, torno 8' marca Coe modelo 630, guillotina automática marca Elliot Bay modelo H-5839, tres secadoras de chapa marca Moore Dry modelo Ken-1884, dos ensambladoras marca Merritt modelo H-241, dos parchadoras Marca Coe modelo OB-36M, dos engomadoras, dos prensas modelos Williams y Mesco, sierras dobles modelos Globe of Tacoma y Banford-Premier PC-7 y lijadora marca Coe modelo 353 así como resina de urea formaldehído.

La muestra de este estudio estuvo conformada por cinco trozas por categoría diamétrica, con variación entre cada categoría de 5 cm para cada una de las cuatro calidades en las que se clasifica la trocería en la región de Durango. El diámetro de las trozas abarcó un rango de 25-70 cm, y se clasificaron en las categorías de 2 y mejor (2M) para trozas de primera y segunda calidad; las clases 3, 4 y 5 para trozas de tercera, cuarta y quinta calidad. Las trozas seleccionadas se cubicaron con la fórmula de Smalian y el procedimiento descrito por Zavala (1995).

En el área del torno se determinó el CA de chapa verde, relacionando la calidad y categoría diamétrica de cada troza procesada con la chapa resultante de vistas, trascaras, tiras y "colas de pescado", después de sanear las irregularidades de las tiras y las colas. Toda la chapa se secó hasta un contenido de humedad de 6 a 8%. Las tiras se ensamblaron para obtener hojas completas y las vistas y trascaras se sanearon en las parchadoras. En el área de engomado se preparó el adhesivo con 31.90% de resina, 35.38% de harina, 31.90% de agua y 0.82% de catalizador; esta mezcla se aplicó a la chapa de 350 a 450 g por doble línea de pegamento. En el área de dimensionado de los tableros, se cuantificaron los desperdicios por escuadrado del triplay y se calculó el CA relacionando volumen y calidad de las trozas con el volumen y calidad de los tableros generados.

La clasificación del triplay se realizó con las normas de la empresa, que se basan en la calidad de la cara y de la trascara: AD para el triplay de mejor calidad, BD para calidad media y CD para calidad más baja; la primera letra corresponde a la cara y la segunda a la calidad de la trascara. Esta clasificación es muy similar a la indicada por Hernández y Hernández (1988) y a la descrita por Zamudio (1977).

Para determinar los costos de producción de triplay, se tomó como base la producción de febrero del 2000. Se integró el precio de la materia prima y los gastos inherentes, que incluyeron nómina, prestaciones, refacciones, consumo de energía eléctrica, operación de montacargas, mantenimiento mecánico y eléctrico, gastos de administración y depreciación. Las áreas de trabajo consideradas en los cálculos fueron: mesa verde, secadoras, recuperación, engomadoras y prensas, perfiladora, lijadora y almacén. Con los datos de estas áreas, se calcularon los costos de producción por tipo de chapa, y calidad y espesor de los diferentes tipos de tableros que se manufacturan en forma tradicional. Mediante el análisis de los costos de la chapa y del proceso de elaboración del triplay, comparados con los precios de los distintos tipos de tableros en el mercado, se determinó su rentabilidad.

RESULTADOS

Las características de la muestra para la elaboración de triplay abarcaron toda la gama de calidades y diámetros con las cinco trozas procesadas en cada categoría diamétrica y para cada una de las cuatro clases en las que se clasifican las trozas. En general, el coeficiente de aprovechamiento de chapa presenta una tendencia ascendente con el aumento del diámetro en cada una de las cuatro calidades de las trozas. En la clase 2M en la categoría diamétrica de 30-30 cm el CA fue de 41.16% y el más alto correspondió a la categoría de 60-64 cm de 53.73%; para la clase 3, en la rango de 25-29 cm de diámetro el CA fue de 34.35% y en la categoría de 65-69 cm el CA fue de 50.09; en la clase 4, para los rangos de 25-29 cm y de 65-69 cm de diámetro los CA fueron de 52.62% y de 63.81 respectivamente, y para la clase 5, en las categorías diamétricas de 30-34 cm y de 60-64 cm, los CA fueron de 39.41 y 50.55% respectivamente. El CA de chapa verde se reduce en 20% con relación al CA de chapa al final del proceso de elaboración de los tableros para las clases de trocería 2M y 3, en tanto que para las trozas de clase 4 y 5, disminuye en 12% (Figura 1).

La misma tendencia del aumento del coeficiente de aprovechamiento con el incremento del diámetro de las trozas dentro de cada clase o calidad de la trocería, también se presenta con el aumento en la calidad y en los volúmenes de chapa generados. La calidad de la chapa y el número de piezas se incrementa

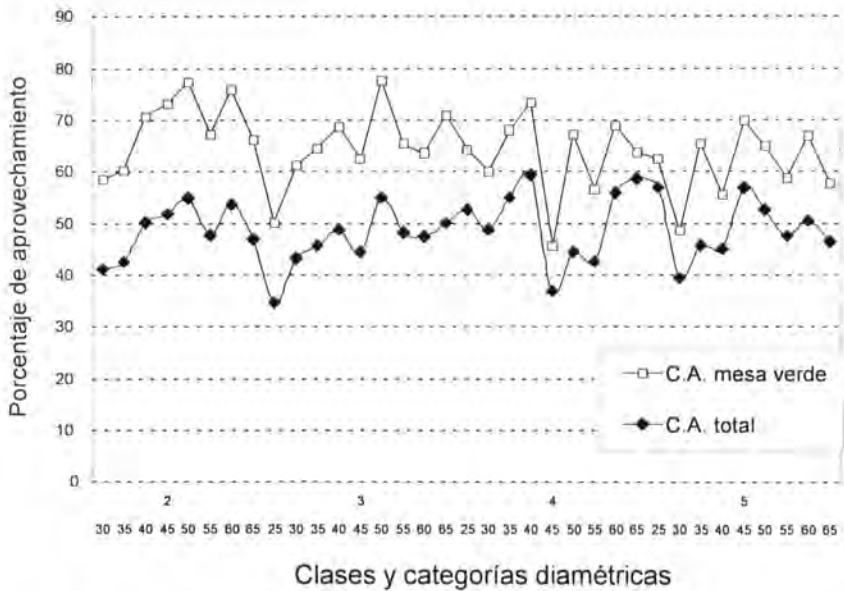


Figura 1. Coeficientes de aprovechamiento de chapa por características de la trocería

con el diámetro y calidad de las trozas; *i.e.* el volumen de chapa y el número de vistas de las trozas 2M en la categoría diamétrica de 30-34 cm fue de 0.454 m³ y de 83 vistas, en la misma clase para la categoría de 65-69 fue de 2.078 m³ y de 480 vistas, y en las trozas de clase 3, para las mismas categorías fue de 0.442 m³ y 30 vistas, y de 2.388 m³ y 317 vistas respectivamente. De las trozas de clase 4, para las categorías de 30-34 cm y de 65-59 cm, se generaron 47 y 262 hojas para interiores y en las trozas de clase 5, el número de hojas para la categoría 30-34 cm fue de 39 y para la categoría 65-69 cm de 170 (Figura 2).

Costo de la trocería para triplay

Generalmente la trocería se comercializa en mill run, puesta en patio, y el precio se negocia en función de la proporción a simple vista por clase, sin cuantificarla. Sin embargo, para la producción de triplay, se tiene bien definido el uso de la trocería de clase 2M y 3, que por lo regular se utiliza para vistas, trascaras y centros delgados, y la de 4 y 5 para la producción de centros e interiores gruesos.

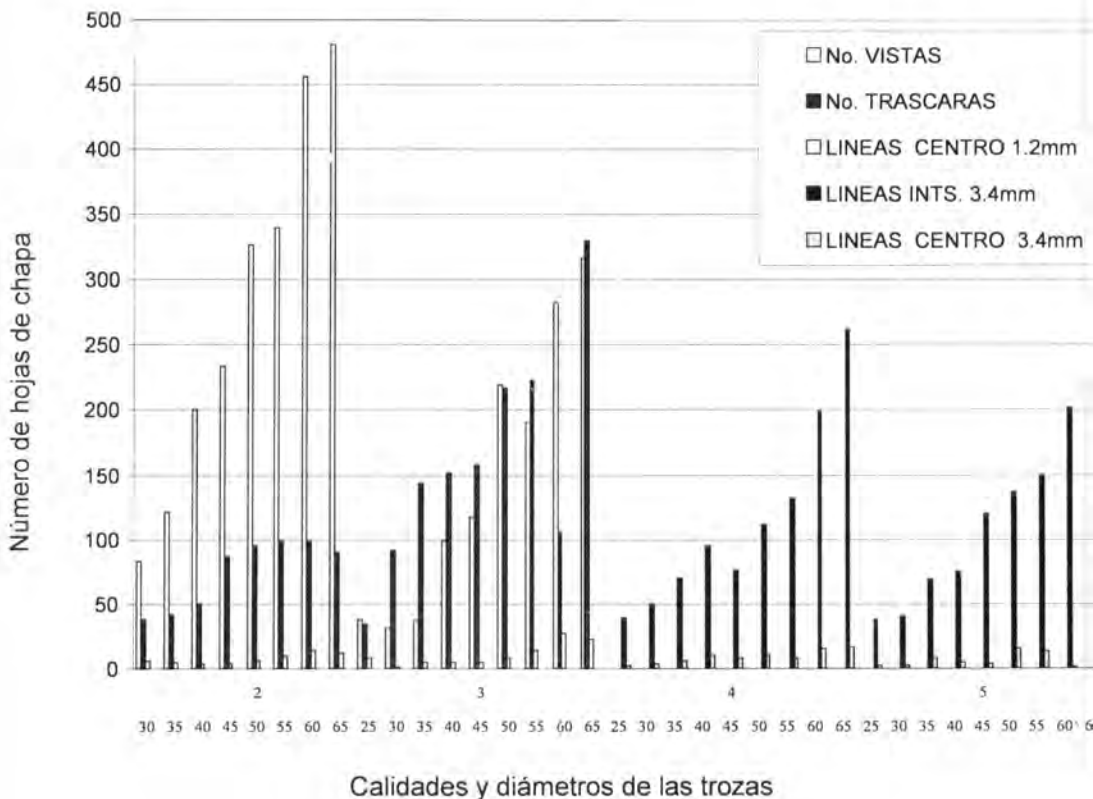


Figura 2. Interrelación entre el diámetro y la calidad de las trozas con los volúmenes y la calidad de la chapa

En el periodo en que se realizó este estudio (febrero- abril del 2000), el precio de la trocería libre a bordo en patio LAB de la fábrica fue de \$ 850.00 m³r mill run en largas dimensiones, la cual en el proceso de dimensionado y cabeceado disminuye alrededor de 10% de su volumen, lo que se considera como pérdidas por mermas en patio antes de entrar a la fábrica. Con este diferencial en volumen, el costo de la trocería para la producción de triplay sería de \$850.00 m³r, más el porcentaje de pérdida indicado, por lo que 1 m³r tendría un costo equivalente a 1.1 m³r del patio de la fábrica, que corresponde a \$ 935.00.

La proporción de las clases de trocería que se utilizan en la producción del triplay se define con base en los espesores y calidad de los tableros que se desea

producir. Para tableros delgados se destina una proporción alta de trocería de clase 2M y 3, y para los gruesos predomina la trocería de clase 4 y 5. Aun cuando el precio de las trozas es base mill run, para el análisis de costos del proceso de tableros, se considera necesario definir un precio en función de la calidad de las trozas. Esta definición de precios se relaciona con las proporciones de volúmenes por clases desde el monte, que varían de 30 a 35% para las trozas de clase 2M y 3, y de 65 a 70% para las de 4 y 5. En este estudio se consideró un 33% de clase 2M y 3, y 67% de clase 4 y 5.

Con la proporción de clases del monte a patio de 33% en 2M y 3, y de 67% en 4 y 5, y al considerar un precio de \$ 700.00/ m³r para las trozas de clase 4 y 5, se tendría un precio para la 2M y 3 de \$ 1,412.12/m³r.

Costo de la madera (chapa) por tipo de tablero

Como se puede advertir en el Cuadro 1 con los precios de la trocería de las clases 2M y 3 de \$ 1,412.12 y de \$ 700.00 / m³r para las trozas de 4 y 5, y un coeficiente de aprovechamiento en el mes de febrero de 42.68%, se determinaron los costos por metro cúbico de chapa generada de cada m³r procesado para cada clase de trocería, a través de la siguiente relación:

$$\$ 1,412.12 / 0.4268 = \$ 3,308.62 \text{ por metro cúbico de chapa para las trozas de clase 2M y 3}$$

$$\$ 700.00 / 0.4268 = \$ 1,640.11 \text{ por m}^3 \text{ de chapa para las de clase 4 y 5}$$

Cuadro 1. Volumen y costo de trocería procesado en el mes de febrero del 2000

Calidad	Costo m ³ r (\$)	Costo m ³ chapa	Consumo m ³ r	Costo Total (\$)
Clase 2M.	1,412.12	3,308.62	292.64	413,242.80
Clase 3	1,412.12	3,308.62	690.40	974,927.65
Clase 4	700.00	1,640.11	1,925.88	1'348,116.00
Clase 5	700.00	1,640.11	942.64	659,848.00
			3,851.568	3'396,848.00

Para determinar el costo de la madera transformada en chapa para cada tipo de tablero, se definió el correspondiente a la chapa de 1.2 mm de espesor generada de la trocería de clase 2M y 3 para un volumen por hoja de chapa de 0.003572 m^3 ($1 \text{ m}^3 / (0.0012 \times 1.22 \times 2.44)$), y el de la chapa de 3.7 mm generada de la trocería de clase 4 y 5, equivalente a 0.01119 m^3 .

Los costos de los tableros por cada tipo de chapa utilizada, se definieron a partir de los costos de la chapa de 1.2 mm de espesor derivada de las trozas 2M y 3 y de la chapa de 3.7 mm generada de las trozas 4 y 5 (Cuadro 2), de acuerdo a la siguiente relación:

$$\text{Costo por volumen de una hoja de chapa de trozas 2M y 3 de 1.2 mm} \\ (0.003572 \text{ m}^3) = \$ 3,308.62 \times 0.003572 \text{ m}^3 = \$ 11.82$$

$$\text{Costo por volumen de una hoja de chapa de trozas 4 y 5 de 3.7 mm} \\ (0.01119 \text{ m}^3) = \$ 1,604.11 \times 0.01119 \text{ m}^3 = \$ 17.95$$

La chapa de las trozas de clase 2M generalmente se usa para vistas y trascaras, por esa razón en la segunda columna del Cuadro 2, se indican dos líneas u hojas de chapa para cada espesor de triplay, y la chapa proveniente de

Cuadro 2. Costo de los tableros en función del tipo de chapa utilizada

Tablero espesor mm	Chapa 2 1.2 mm (\$)	Chapa 3 1.2 mm (\$)	Chapa 4 3.7 mm (\$)	Chapa 5 3.7 mm (\$)	Costo tablero (\$)
3	(11.82)2	11.82			35.46
6	(11.82)2		17.95		41.59
9	(11.82)2	(11.82)2		17.95	65.23
10.5	(11.82)2	11.82		(17.95)2	71.36
12	(11.82)2			(17.95)3	77.49
16	(11.82)2	(11.82)2		(17.95)3	101.13
19	(11.82)2		17.95	(17.95)4	113.39

Nota: el No de chapa se refiere a la calidad de la trocería de donde proviene

las trozas de clase 3 se utiliza para centros e interiores delgados. La chapa generada de las trozas 4 y 5 para centros e interiores gruesos (3.7 mm).

Costos de producción del triplay

Los costos de producción de la chapa y de los tableros se determinaron integrando el de producción en la mesa verde, en el área de secado, en la sección de recuperación y saneo de la chapa, el de ensamblado y parchado, el de engomado y prensado, el de dimensionado y pulido de los tableros y el del pegamento. La rentabilidad del triplay se definió con base en los costos de la trocería, los del proceso y los precios de los productos en el mercado durante el mes de febrero del 2000.

Costo de producción en la mesa verde

Para determinar los costos de producción en la mesa verde se consideraron los que corresponden al patio de trocería, descortezado, torneado y guillotinado para saneo y dimensionado de la chapa verde. En esta área se cuantificaron el total de horas trabajadas, los volúmenes de chapa procesados y los gastos erogados, determinándose así un costo de producción de \$ 264.7 por m^3 de chapa de 1.2 mm de espesor, y de \$ 242.95/ m^3 para la chapa de 3.7 mm de espesor, con un costo por línea u hoja de chapa de 1.2 mm, de \$ 0.946 ($1 m^3/280$ hojas = \$0.946) y para la de 3.7 mm, de \$ 2.719 ($1 m^3/90.78$ hojas = \$ 2.719)

Área de secado

Los costos del proceso de secado de la chapa se definieron cuantificando las horas trabajadas de las secadoras, los volúmenes de chapa generados de cada espesor (463.281 m^3 de chapa de 1.2 mm y 1,110.454 m^3 de chapa de 3.7 mm) y el de operación de las secadoras por hora de trabajo, de lo que resultó que el costo de secado por línea u hoja para la chapa de 1.2 mm es de \$ 0.85 y para la de 3.7 mm, de \$ 2.65

Sección de recuperación de la chapa

Los costos de producción del área de recuperación, se integraron con los costos de las guillotinas, del trocero, de las ensambladoras y de las parchadoras, con sus respectivos volúmenes de chapa procesada y el de producción por hora en cada una de estas áreas. El costo total de producción de la sección de recuperación fue de \$ 325,222.81, integrado con base en los porcentajes del costo de cada una de las cuatro áreas señaladas, un 50% para guillotinas, 16% para el trocero, 11% para ensambladoras y 22% para parchadoras.

Guillotinas

Este componente representó 50%, del costo total, con un valor de \$ 165,863.64, y se procesó un volumen de 977.404 m³ como centro de 3.7 mm y de 60.319 m³ como centro de 1.2 mm, lo que corresponde a 74,611 líneas u hojas de chapa para el primer caso y de 16,849 líneas para el segundo, lo que significa un costo por hoja o línea de \$ 1.81, independientemente del espesor.

Trocero

El monto por concepto de producción fue de \$ 52,035.65; 16 % del costo total, con un volumen procesado de 1,110.458 m³ como centro de 3.7 mm y de 463.281 m³ como centro de 1.2 mm lo que es equivalente a 84,768 líneas u hojas de chapa para el primer caso y de 129,408 líneas para el segundo; de ello resultó que el costo por hoja o línea fue de \$ 0.37 para la chapa de 3.7 mm y de \$ 0.118 para la de 1.2 mm de espesor.

Ensambladoras

El costo de ensamblado fue 11% del total, es decir \$ 35,774.51; se procesaron 2,700 vistas y 2,119 trascaras, lo que generó un costo por vista de \$ 0.43 y de \$ 0.31 por trascara.

Parchadoras

Para este concepto, el costo fue de \$ 71,549.02, equivalente al 22% del total, y se parcharon 46,824 vistas, lo que originó un costo por vista de \$ 1.53.

Sección de engomado y prensado

Para determinar los costos de producción de la sección de ensamblado y prensado, se consideraron el número y características de los tableros producidos, el total de horas trabajadas y el costo de producción por hora de las engomadoras, de las prensas y del pegamento para cada espesor de los tableros.

El costo de producción para hojas de 3mm y 6 mm de espesor fue de \$ 4.41 por hoja, para el triplay de 9mm y 12 mm fue de \$ 8.20 por hoja y para los tableros de 16 mm y 19 mm de espesor el gasto fue de \$ 10.28 por hoja.

Costo de pegamento

El costo promedio del pegamento utilizado por línea en centros delgados fue de (289 gr/m²) \$ 1.78 y para los centros gruesos fue de (498.38 gr/m²) \$ 3.07.

Sección de dimensionado y pulido

La sección de dimensionado y pulido conjunta el dimensionado, resane de los tableros, pulido y proceso de clasificación y almacenamiento de los tableros, lo que determinó un costo por hoja normal de \$ 4.83 y para las hojas clasificadas como industriales de \$ 3.44.

Integración de costos de chapa y producción

Con la integración de los costos de las área, se calcularon los de cada tipo de chapa utilizada en la producción del triplay (Cuadro 3). Aparentemente, el costo de una vista (\$3.75) es similar al de un centro del mismo espesor (\$5.51, o \$3.73 sin el pegamento), lo cual puede parecer incongruente dada la diferencia en cuanto a dificultad para generar una y otra, la vista es más difícil de obtener por la calidad de trocería que se requiere, pero demanda menos trabajo, en tanto que los centros se conforman por piezas o secciones pequeñas que requieren más trabajo para sanearse, perfilarse y ensamblarse para la formación del conglomerado de chapas de cada tipo de triplay.

Con base en los costos del proceso de elaboración de los diferentes tipos de chapa, y del prensado y pulido, se calcularon los costos del proceso de elaboración de los tableros. Se presenta una relación directa en los costos de producción con los espesores de los tableros, que van desde \$ 20.59 para el de 3 mm, hasta \$ 63.58 para el de 19 mm (Cuadro 4).

Para determinar los costos de producción de cada espesor de los tableros se integraron con los de la chapa y del proceso, los cuales muestran una relación ascendente similar a la indicada en el párrafo anterior, con el resultado de que el de 3 mm fue de \$ 64.69 y el de 19 mm de \$197.31 (Cuadro 5).

Rentabilidad del triplay

La rentabilidad del proceso de producción de triplay se determinó comparando los costos de producción con los precios de venta en el mercado de los distintos tipos de tableros con base en su espesor y calidad. Los precios que se indican en el Cuadro 6, corresponden a los de venta al público.

Sin embargo, en la mayoría de las empresas se manejan descuentos y concesiones especiales según los arreglos específicos con cada comprador o distribuidor. Con las utilidades estimadas por tipo de tablero para los precios de venta señalados, se observa un margen bastante considerable de ganancias, que permite dar descuentos hasta de un 20% sin generar pérdidas para la empresa.

Cuadro 3. Costos de los distintos tipos de chapas (hojas) con base en los costos del proceso

Proceso	Vistas (\$)	Trascaras (\$)	Centro 3.7 mm (\$)	Centro 1.2 mm (\$)	Interior 3.7 mm (\$)	Interior 1.2 mm (\$)
Desenrollado	0.95	0.95	2.72	0.95	2.72	0.95
Secado	0.85	0.85	2.65	0.85	2.65	0.85
Parchado	1.53					
Ensamblado	0.43	0.31				
Guillotinas			1.81	1.81		
Trocero			0.37	0.12		
Engomado			3.07	1.78		
TOTAL	3.75	2.11	10.63	5.51	5.37	1.79

Cuadro 4. Costos de armado de los diferentes espesores de triplay

Tablero mm	Vista (\$)	Trascara 1.2mm (\$)	Centro 1.2mm(\$)	Centro 3.7mm(\$)	Interior 1.2mm(\$)	Interior 3.7mm(\$)	Prensado (\$)	Pulido (\$)	Total (\$)
3	3.75	2.11	5.51				4.41	4.83	20.59
6	3.75	2.11		10.63			4.41	4.83	25.71
9	3.75	2.11	(5.51) 2			5.37	8.20	4.83	35.26
10.5	3.75	2.11		(10.63) 2	1.79		8.20	4.83	41.93
12	3.75	2.11		(10.63) 2		5.37	8.20	4.83	45.51
16	3.75	2.11		(10.63) 3	(1.79)2		10.28	4.83	56.43
19	3.75	2.11		(10.63) 3		(5.37)3	10.28	4.83	63.58

Cuadro 5. Costos de producción de triplay integrando los costos de la madera y del proceso

Espesor del triplay (mm)	Costos		
	Madera (\$)	Proceso (\$)	Total tablero (\$)
3	35.46	20.59	56.05
6	41.59	25.71	67.30
9	65.23	35.26	100.49
10.5	71.36	41.93	113.29
12	77.49	45.51	123.00
16	101.13	56.43	157.56
19	113.39	63.58	176.97

Los descuentos también se manejan en función de la demanda en el mercado y de la competencia entre fabricantes y distribuidores. En la actualidad, con la entrada al mercado mexicano de tableros de importación, la demanda del producto nacional se ha reducido y los descuentos se han incrementado, aún cuando se desconoce el monto. Con los márgenes de utilidad señalados en el Cuadro 6, seguramente se podrá seguir compitiendo con el triplay del exterior. Una de las tareas que deben realizar los productores nacionales es mejorar los procesos de producción para abatir costos, puesto que respecto a la trocería se considera poco probable que bajen los precios sin menoscabo de los sueldos de los trabajadores.

Un aspecto a considerar es la disparidad de precios entre las calidades de los tableros para espesores iguales, *i.e.* el precio del tablero de 3 mm de BD es de \$89.53 y el de CD de \$79.76, con una diferencia de \$ 9.77, y así sucesivamente para los demás espesores. La variación en calidad de la chapa se debe no sólo a las características originales de la madera, es decir una chapa para vista de calidad A en la salida del torno, no siempre conserva la misma calidad al formarse el tablero, sino que puede bajar de clase por efecto del manejo de la chapa durante el proceso. La desigualdad de precios entre las calidades del

Cuadro 6. Costos y rentabilidad por espesor y calidad de triplay (hoja).

Espesor mm	Costo \$	Precio y utilidad					
		AD (\$)	Utilidad (\$)	BD (\$)	Utilidad (\$)	CD (\$)	Utilidad (\$)
3	56.05	97.51	41.46	89.53	33.48	79.76	38.3
6	67.30	126.47	59.17	115.56	48.26	103.69	44.52
9	100.49	172.79	72.3	159.31	58.82	141.89	69.59
10.5	113.29	193.79	80.5	178.57	65.28	159.14	78.64
12	123.00	214.81	91.81	197.84	74.84	176.38	84.57
16	157.56	264.12	106.56	242.45	84.89	216.38	109.82
19	176.97	304.12	127.15	279.75	102.78	249.64	122.49

triplay, por efecto de la calidad de la chapa, es un factor que se debe tomar en cuenta al hacer la selección de las trozas y el manejo de la chapa. En el primer caso, cuando la calidad de la chapa depende de las características de la troza, se tiene poco control para mejorarla; pero en el segundo aspecto la calidad de la chapa es susceptible de perfeccionarse mediante su manejo, evitando el efecto de grietas, parches mal colocados, diferencias en la coloración del parche o en las tiras que integran la chapa, por áspera.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se observó una relación directa del coeficiente del aprovechamiento y la calidad de la chapa con la calidad y las categorías diamétricas de la trocería.

Se presenta una relación ascendente entre las clases y los diámetros de las trozas con los volúmenes y calidades de la chapa generada, especialmente en la proporción de vistas y trascaras en las trozas 2M y 3, y de los centros e interiores en las trozas de clase 4 y 5.

El costo de producción del triplay mostró una relación directa y ascendente con los espesores del mismo, tanto por el costo de la chapa como por el del proceso.

La rentabilidad o margen de ganancia también presentó una relación directa ascendente con los espesores y clases de triplay.

Los márgenes de utilidad de los distintos tipos de triplay aparentemente son muy altos con base en los precios de lista que manejan las empresas, sin embargo, se sabe que todas las empresas ofrecen descuentos que van desde 5 hasta 25%, dependiendo de la demanda del mercado y de los precios de los competidores.

REFERENCIAS

- Cámara Nacional de la Industria Forestal. 1993. Memoria Económica 1991-1992. México, D.F. 49 p.
- Hernández C., R. y J. L. Hernández S. 1988. Aplicación de la programación lineal en la planeación de la producción de triplay. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 81 p.
- Ruiz V., M. 1990. Proceso de elaboración y coeficiente de aprovechamiento de tableros contrachapados en la Cia. Enchapados Alfa. Tesis Profesional.

- Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 49 p.
- Subsecretaría Forestal y de la Fauna. 1982. La industria de los tableros de madera en México. SARH. 99 p.
- Spelter, H. 1989. Plywood manufacturing cost trends, excluding wood, in Western U.S. mills: 1975-1988. USDA. Forest Service. Forest Products Lab. Gral. Tech. Report FPL-GTR-64. 11 p.
- Spelter, H. 1991. VENTAL A plywood mill cost accounting program. USDA. Forest Service. Forest Products Lab. Gral. Tech. Report FPL-GTR-68. 25 p.
- Woodfin, O. R. 1973. Wood losses in plywood production - four species. Forest Products Journal 23 (9):98-105.
- Zamudio S., E. 1977. Apuntes de producción de chapa y contrachapados. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Méx. 176 p.
- Zavala Z., D. 1990. Diagnóstico de la industria de tableros contrachapados en el área metropolitana del D. F. Ciencia Forestal. Vol. 15. (68): 61-83.
- Zavala Z., D. 1995. Interrelación de las características de la trocería con el coeficiente de aprovechamiento en aserraderos banda. Ciencia y Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. (6):13-14.

RESISTENCIA NATURAL DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES DE ENCINOS DEL ESTADO DE PUEBLA

Luis Vázquez Silva¹ y José Amador Honorato Salazar¹

RESUMEN

La resistencia natural a la pudrición de la madera de albura de cinco especies de encino del estado de Puebla, México, fue evaluada con el método de suelo bloque y de acuerdo con la norma ASTM D 2017 - 81. Veinte bloques de muestras de probetas provenientes de la madera de las especies *Quercus affinis*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens*, *Q. laurina* y *Q. mexicana*, fueron expuestos durante 16 semanas al ataque de los hongos xilófagos *Poria monticola* y *Lentinus lepideus*, causantes de la pudrición café, así como *Polyporus sanguineus*, relacionado con la pudrición blanca. La evaluación del ataque se realizó en cámaras de pudrición y posteriormente se calculó el promedio de pérdida de peso porcentual de los bloques. Los resultados obtenidos muestran que la resistencia natural a la pudrición de las especies de encino, se clasificó como altamente resistente para *Q. glabrescens*, resistente para *Q. affinis*, *Q. crassifolia* y *Q. mexicana* y no resistente para *Q. laurina*. La alta resistencia de *Q. glabrescens* puede deberse a la combinación de la presencia de taninos, contenido de polímeros de la pared celular y presencia de tilides en los elementos de vaso. La degradación causada por los hongos, mostrada como la pérdida de peso porcentual, fue mayor para *P. sanguineus* y menor para *P. monticola*.

Palabras clave: Albura, encinos mexicanos, pudrición blanca, pudrición café, *Quercus*, resistencia natural.

ABSTRACT

Natural decay resistance in the sapwood of five oak species from Puebla state, Mexico, was tested by the soil-block method, according to the ASTM D 2017-81

Fecha de recepción: 4 de septiembre de 1998

Fecha de aceptación: 8 de noviembre de 2002

¹ INIFAP, Campo Experimental San Martinito. Km. 56.5 Carretera Federal México Puebla, C.P. 74000 San Martín Texmelucan, Puebla. Correo-e: cesmar@compuredes.com.mx

standard. Twenty wood blocks were obtained from wood samples cut from logs of the following oak species: *Quercus affinis*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens*, *Q. laurina* and *Q. mexicana*. Wood blocks were exposed in soil bottles for 16 weeks to the xilofagous fungus species *Porya monticola* and *Lentinus lepideus*, which cause the brown decay of wood. Samples from the same species were also exposed to *Polyporus sanguineus*, which is related to the white decay of wood. Evaluation of wood decay was done after the exposure period, and the average percent loss in the dry weight of the blocks was calculated. Results showed that the natural decay resistance of the tested oak species was different. *Q. glabrescens* was classified as highly resistant, whereas *Q. affinis*, *Q. crassifolia* and *Q. mexicana*, were classified as resistant. In contrast, *Q. laurina* was found as non-resistant to wood decay. The high durability of *Q. glabrescens* may be related to the combination of wood tannins, the content of cell wall polymers, as well as the presence of tyloses in the vessel elements. Fungal attack, as showed by the percent weight loss values, was greater for *P. sanguineus* and lower for *P. monticola*.

Key words: sapwood, Mexican oaks, white-rot, brown-rot, *Quercus*, natural resistance.

INTRODUCCIÓN

Por ser un material de origen biológico la madera es susceptible a ser degradada por varios grupos de organismos. Dentro de éstos, sobresalen los hongos xilófagos, que causan los diferentes tipos de pudriciones; además, ocasionan una descomposición bioquímica de la madera mediante la secreción de enzimas, lo que repercute en pérdidas económicas considerables.

El grupo más grande de hongos que degradan la madera es el de los *Basidiomycetes* y algunos representantes del grupo de los *Ascomycetes* (Eriksson *et al.*, 1990). Estos organismos han sido clasificados dependiendo del tipo de polímero que ataquen y con base en diferentes características macroscópicas. En las etapas avanzadas de descomposición, el color de la madera puede tornarse de color café claro a uno café oscuro, o bien el color puede ser blanco lechoso (Kirk y Cowling, 1984). Así, los hongos se dividen en aquellos que producen la pudrición café y en los que producen la pudrición blanca. Otro tipo de pudrición es conocido como suave o blanda que es por hongos *Ascomycetes* e *Imperfecti* (Eriksson *et al.*, 1990).

La estructura y la composición química de la madera tienen una influencia significativa en la degradación producida por los diferentes organismos y los patrones resultantes de deterioro. El tipo de célula, la composición química y la morfología de la pared celular rigen los efectos de las enzimas en el sustrato leñoso. La descomposición de la madera ocurre por la conversión de uno o más de los polímeros a moléculas más simples; por ejemplo, la celulosa a unidades de glucosa. Sin embargo, para que esto suceda, las condiciones ambientales, así como las del sustrato deben ser adecuadas, de otra forma el proceso de degradación será inhibido (Kirk y Cowling, 1984).

Bajo ciertas condiciones de uso, la madera está expuesta a diversos ambientes y no solamente al ataque de organismos, sino también al de agentes químicos y físicos; por ello es necesario estudiar la resistencia natural que presenta la madera al impacto individual o sinérgico de los organismos y de los diferentes agentes, antes de destinarla a determinados usos y características ambientales. Esto permite recomendar los métodos más apropiados de preservación, así como los conservadores más convenientes, a fin de incrementar la vida útil de la madera.

A pesar de la importancia económica que representa la conservación y preservación de los productos forestales para la industria maderera, la literatura existente sobre el conocimiento de durabilidad o resistencia natural de las especies maderables de México es aún muy escasa e incompleta.

La mayor parte de los estudios en encinos mexicanos respecto al ataque por hongos xilófagos se han llevado a cabo mediante evaluaciones experimentales de laboratorio. Éstos han sido realizados utilizando técnicas de malta-agar bloque (Salinas *et al.*, 1971) y de suelo-bloque (Herrera *et al.*, 1976; 1980; De la Paz y Salinas, 1977; Torelli y Cufar, 1994), de acuerdo con la norma ASTM D 2017 (Rq 97). Las especies de hongos usados han sido aquellas que causan pudrición café, tales como *Lentinus lepideus* Fr., *Poria monticola* Murr. y *Gleophyllum trabeum* (Fr.) Murr., o pudrición blanca, como son *Polyporus sanguineus* L. ex Fr. y *Trametes versicolor* (Fr.) Pilat.

Las especies de encino estudiadas pertenecen a los subgéneros *Erytrobalanus* y *Leucobalanus*. Entre las especies del primer subgénero se han probado *Quercus acutifolia* Née, *Q. anglohondurensis* Muller, *Q. barvinervis* Benth., *Q. candicans* Née, *Q. castanea* Née, *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl., *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. scytophylla* Liemb., *Q. sideroxila* Humb. et Bonpl. y *Q. skinneri* Benth (Herrera *et al.*, 1976; 1980; Salinas *et al.*, 1971; Torelli y Cufar, 1994); en el segundo subgénero, pueden citarse *Q. convallata* Trel., *Q. excelsa* Liemb., *Q.*

obtusata Humb. et Bonpl. y *Q. resinosa* Liemb. (Herrera *et al.*, 1976; 1980; De la Paz y Salinas, 1977). Los resultados obtenidos en estos casos indican que la resistencia natural de los encinos se ubica desde altamente resistente a no resistente. Dicha variación tan amplia se debe a que aun cuando la norma ASTM (1992) establece que la evaluación de esta característica se realice solamente con el duramen, en algunos estudios han considerado a la albura (Herrera *et al.*, 1976; Salinas *et al.*, 1971; de la Paz y Salinas, 1977). Esto obedece a que en el caso de los encinos, al igual que en otras especies, la resistencia natural es mayor en la madera de duramen que en la madera de albura, lo cual se debe a que existe una mayor concentración de extractivos en la madera de duramen (Charrier *et al.*, 1995; Honorato y Hernández, 1998).

La magnitud de la resistencia natural de la madera varía notablemente dependiendo de la especie, del tipo de madera, del tipo de hongo, de la cantidad y de los tipos de extractivos presentes en la misma. Generalmente la del fuste y la de la sección transversal están correlacionadas con la naturaleza y la distribución de los extractivos tóxicos (Scheffer y Cowling, 1966). Dentro de los extractivos, solamente los taninos solubles en agua son compuestos tóxicos que reducen el ataque de *Poria monticola* (Hart y Hillis, 1972). Sin embargo, se requiere de un mayor trabajo experimental para correlacionar los compuestos tóxicos con la inhibición o reducción del ataque de hongos xilófagos.

Asimismo, dada la diversidad de especies forestales maderables, es importante determinar la resistencia y durabilidad natural de la madera mediante métodos de laboratorio y de campo, que permitan obtener índices de degradación, que mejoran e incrementan el tiempo de uso de la madera.

El presente estudio consistió en evaluar y clasificar la resistencia natural de la albura de cinco especies de encino del Estado de Puebla expuestas a tres cepas de hongos xilófagos: *P. monticola*, *L. lepideus* y *Polyporus sanguineus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el bosque templado-frío de la zona norte del estado de Puebla se colectaron dos árboles de cada una de las siguientes especies: *Q. affinis* Scheid. Hort., *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens* Benth., *Q. laurina* y *Q. mexicana* Humb. et Bonpl., con DAP entre 40 y 69 cm y alturas entre 16 y 25 m. Solamente *Q. glabrescens* pertenece al grupo de encinos blancos y el resto son encinos rojos.

De cada árbol se seccionó una troza de 2.70 m de longitud a una altura de 1.5 m arriba del tocón, siguiendo la metodología propuesta por Ramos y Díaz (1981). De

cada troza se cortaron secciones transversales de 15 cm de espesor, de las cuales se obtuvieron pequeñas probetas de 2.5 cm (R) x 2.5 cm (T) x 0.9 cm (L) de la madera de albura, exclusivamente. Para cada especie de encino se escogieron 26 muestras al azar para prueba por tipo de hongo, que fueron divididas en 20 repeticiones y seis testigos y que fueron secadas en estufa posteriormente a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; se determinó su peso anhidro (P_1). Adicionalmente, se prepararon 18 muestras de madera de jobo (*Spondias mombin* L.) como bloques de referencia, porque es una especie muy susceptible al ataque de hongos (Herrera *et al.*, 1976, 1980). Los bloques de referencia y el testigo se utilizaron para monitorear el proceso mediante la pérdida de peso de los bloques.

Las pruebas de resistencia natural y evaluación se llevaron a cabo de acuerdo con la norma ASTM D 2017-81 señalada anteriormente (ASTM, 1992), utilizando un medio de cultivo de suelo bloque. Cada una de las especies de encino y la especie de referencia fueron sometidas al ataque de tres especies de hongos, dos de ellos causantes de la pudrición café: *P. monticola* (10,200 INIF) y *L. lepideus* (10,000 INIF) y uno de ellos de la pudrición blanca: *P. sanguineus* (10,150 INIF) (Gómez *et al.*, 1969; Herrera *et al.*, 1976).

Las cámaras de pudrición consistieron en frascos de vidrio con capacidad de 235/ml y con tapas de metal, en las cuales el empaque de cartón, fue substituido por algodón. A los recipientes se les incorporaron 118 g de suelo migajón arcilloso y 55/ml de agua destilada para obtener una capacidad de retención de agua de 130%. Posteriormente el suelo fue nivelado con un bloque separador de madera de albura de 0.9 mm (R) x 32 (T) mm x 42 mm (L). Sobre el bloque separador se colocó una muestra de las especies de encino o de referencia.

Los frascos fueron cerrados con sus respectivas tapaderas a un cuarto de vuelta y se llevó a cabo la esterilización en autoclave durante una hora a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a una presión de 1.4 kg/cm^2 . Una vez que alcanzaron la temperatura ambiental, se hizo la inoculación. Para tal efecto, se sacó el bloque de prueba de la cámara de pudrición con pinzas esterilizadas y después, sobre el bloque separador se puso un inóculo de un cm^2 formado de micelio y de medio de cultivo desarrollado en malta-agar a $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ y obscuridad durante 21 días. Los inóculos se tomaron de la zona de crecimiento más joven. Sobre el inóculo se depositó el bloque de prueba y otro inóculo se puso sobre éste.

Las cámaras de pudrición se incubaron a una temperatura de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa de 70 % por 21 días en condiciones semiobscuras. El proceso de

exposición llegó a su término a las 16 semanas, cuando los bloques de referencia indicaron una pérdida de peso del 60% o más para cada uno de los hongos (ASTM, 1992). Posteriormente, se extrajeron los bloques de prueba de la cámara de pudrición, y se les limpió el micelio que se desarrolló sobre ellos, dejándolos inactivos y finalmente se les lavó con fenol al 10%; después, todos los bloques fueron sometidos a un secado en estufa a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que se obtuvo un peso constante final (P_2). Con los datos obtenidos de peso, se calculó la pérdida de peso para cada uno de los bloques causada por el ataque de los hongos mediante la siguiente fórmula:

$$Pp(\%) = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

$Pp(\%)$ = Porcentaje de pérdida de peso debido al ataque

P_1 = Peso anhidro inicial del bloque

P_2 = Peso anhidro del bloque después del ataque.

La resistencia natural por especie se evaluó con base en los promedios de pérdida de peso de las 20 repeticiones. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de varianza al 5 % de probabilidad para las especies de encino y las especies de hongo, así como para la interacción de ambos y una comparación múltiple de medias por el método de Fisher (Cochran y Cox, 1978). Los valores promedio se clasificaron de acuerdo a los criterios de clasificación que se establecen en la norma ASTM D 2017-81 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Criterio de clasificación de la resistencia natural de la madera al ataque de los hongos de prueba en laboratorio (ASTM, 1992).

Pérdida de peso promedio (%)	Grado de resistencia al hongo de prueba	Clase de resistencia
0 - 10	Altamente resistente	A
11 - 24	Resistente	B
25 - 44	Moderadamente resistente	C
45 o más	Ligeramente resistente o no resistente	D

RESULTADOS

Los porcentajes promedio de pérdida de peso de las cinco especies de encinos expuestos al ataque de cada tipo de hongo se muestran en el Cuadro 2 y la Figura 1.

Cuadro 2. Porcentaje promedio de la pérdida de peso de los bloques de prueba bajo pudrición durante 16 semanas y clasificación de resistencia.

Especie	<i>Poria monticola</i>	<i>Lentinus lepideus</i>	<i>Polyporus sanguineus</i>
<i>Quercus affinis</i>	6.68 (2.36)* Altamente resistente	5.88 (3.00) Altamente resistente	16.60 (6.93) Resistente
<i>Q. crassifolia</i>	7.68 (3.18) Altamente resistente	6.64 (3.54) Altamente resistente	14.14 (4.08) Resistente
<i>Q. glabrescens</i>	8.62 (7.12) Altamente resistente	6.20 (3.85) Altamente resistente	10.89 (5.31) Altamente resistente
<i>Q. laurina</i>	11.63 (6.90) Resistente	49.48 (5.14) No resistente	50.20 (3.46) No resistente
<i>Q. mexicana</i>	7.98 (4.91) Altamente resistente	7.06 (6.47) Altamente resistente	14.06 (6.37) Resistente

* El valor entre paréntesis indica la desviación estándar de 20 muestras.

El análisis de varianza de la pérdida de peso porcentual para la interacción de las especies y los hongos de prueba se muestra en el Cuadro 3.

Dado que en la naturaleza, el ataque de organismos siempre es de forma conjunta y no aislada, la resistencia natural de la madera está determinada por el ataque más severo (Anonymous, 1972), que en este caso fue ocasionado por *P. sanguineus*. Como se observa en los Cuadros 2 y 3 así como en la Figura 1, la especie con más daños por hongos fue *Quercus laurina* y la menos afectada *Q. glabrescens*; por lo cual se clasifican como no resistente, respectivamente mientras que *Q. affinis*, *Q. crassifolia* y *Q. mexicana*, se consideraron resistentes.

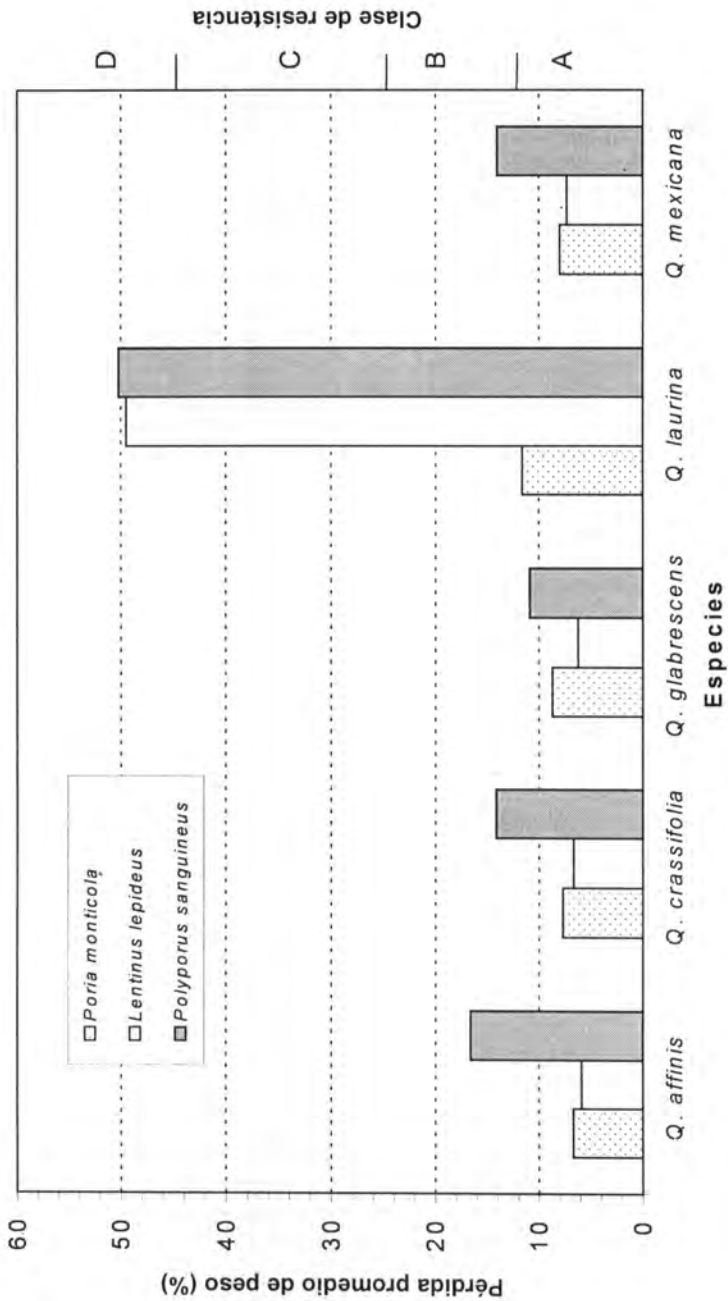


Figura 1. Pérdida de peso porcentual promedio de cinco especies de encino y clase de resistencia.

Cuadro 3. Análisis de varianza del efecto de las especies de encino y hongo sobre la pérdida de peso porcentual.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculada	F tabulada	
					0.05	0.01
Especie de encino	4	36,971.8	9,243.0	356.9	2.40 *	3.39 **
Especie de hongo	2	8,017.7	4,008.9	154.8	3.03 *	4.69 **
Interacción	8	14,340.3	1,792.5	69.2	1.97 *	2.58 **
Error	285	7,376.5	25.9			
Total	299	66,706.4		* Significativo	** Altamente significativo	

De acuerdo con el Cuadro 3, existe una diferencia altamente significativa entre especies, entre hongos y la interacción sobre la pérdida de peso porcentual. Al realizar un análisis de varianza adicional para las especies y para las cepas de hongos, aplicando el método de Fisher, se observó que la pérdida de peso porcentual fue significativa ($p \leq 0.05$) para ambos casos. Así, las variaciones se presentaron en *Q. laurina* y el resto de las especies sometidas al ataque de *P. monticola* y *L. lepideus*; mientras que *P. sanguineus* ocasionó diferentes respuestas entre *Q. laurina*, *Q. glabrescens* y las otras tres especies. Las diferencias observadas en el ataque de hongos en cada especie de encino fueron significativas entre *P. sanguineus* y las otras dos cepas de hongos. (Cuadro 4).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en *Q. crassifolia* y *Q. laurina*, fueron similares a los citados por Herrera *et al.* (1976) para los hongos de pudrición café, pero son diferentes a los de hongos de pudrición blanca. La variación de resultados puede atribuirse a las diversas condiciones de clima prevaletientes en los lugares en donde fueron colectados y a la edad de los árboles, factores que influyen en sus características anatómicas y químicas.

Cuadro 4. Resumen de significancia entre especies de encino y especies de hongo por el método de Fisher (Cochran y Cox, 1978).

Especie	<i>Poria monticola</i>	<i>Lentinus lepideus</i>	<i>Polyporus sanguineus</i>
<i>Quercus affinis</i>	6.68 B b*	5.88 B	6.60 B A
<i>Q. crassifolia</i>	7.68 B b	6.64 B B	14.15 B C a
<i>Q. glabrescens</i>	8.63 A B a b	6.20 B B	10.89 C a
<i>Q. laurina</i>	1.63 A b	49.48 A A	50.20 A a
<i>Q. mexicana</i>	7.98 B b	7.07 B B	14.06 B C a

* Los valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ($\alpha = 0.05$). Las letras mayúsculas indican la comparación entre especies de encino para un tipo de hongo y las letras minúsculas indican la comparación entre hongos para una misma especie de encino.

Los hongos causantes de pudrición café atacan y degradan principalmente a la celulosa y hemicelulosa, y en forma limitada a la lignina. En contraste, los responsables de la pudrición blanca degradan significativamente a la lignina y en menor proporción a la celulosa y hemicelulosa (Kirk y Cowling, 1984; Eriksson *et al.*, 1990). Si se toma en consideración que la cantidad de estos componentes varía entre las especies, el ataque de los hongos también debe ser diferente, siendo superior en donde sea mayor el número de polímeros que componen la pared celular (Kirk y Highley, 1973). Esto no parece ser el caso de las especies estudiadas que fueron expuestas a hongos de pudrición café, puesto que la holocelulosa (celulosa más hemicelulosa) es mayor en *Q. glabrescens* y menor en *Q. laurina* (Honorato y Hernández, 1998). Tampoco parece existir una relación entre el contenido de lignina de las especies estudiadas y la pérdida de peso causada por el hongo de pudrición blanca.

Los hongos se desplazan y se desarrollan entre las células a través de las punteaduras y placas de perforación por las cuales las hifas penetran la pared celular (Eriksson *et al.*, 1990). Los encinos del género *Leucobalanus* presentan gran cantidad de tílides en sus elementos de vaso (De la Paz y Aguilar, 1978), lo

cual los hace más impermeables y, como consecuencia, es más difícil que las hifas de los hongos puedan penetrar la misma pared. La alta resistencia que muestra *Q. glabrescens* al ataque de hongos puede atribuirse, en parte, a la presencia de tilides en 77% de sus elementos de vaso (Honorato, 1997).

Aunque los extractivos de la madera de duramen son más tóxicos que los de la madera de albura (Scheffer y Cowling, 1966), su presencia y cantidad también influye en la resistencia al ataque de los hongos. La presencia de taninos solubles en agua en los encinos es bien conocida y el efecto inhibitorio que muestran, probablemente se deba a la interacción estructural crítica entre las moléculas de éstos y las enzimas degradativas de los hongos (Hart y Hillis, 1972), lo cual puede afectar la permeabilidad y penetración de las hifas. Probablemente esto explique el comportamiento de los resultados obtenidos en los diferentes encinos, ya que la madera de *Q. laurina* tiene un bajo contenido de taninos comparado con las otras especies estudiadas (Honorato y Hernández, 1998).

La alta resistencia al ataque de hongos xilófagos en *Q. glabrescens* puede obedecer a la menor cantidad de lignina, la presencia de tilides en los elementos de vaso y el contenido de taninos de la madera.

CONCLUSIONES

La resistencia natural de la madera de albura de *Q. glabrescens* se clasifica como altamente resistente, *Q. laurina* como no resistente, mientras que *Q. affinis*, *Q. crassifolia* y *Q. mexicana* se clasifican como resistentes.

Para las especies de encino estudiadas, la cepa de hongo más agresiva fue *Polyporus sanguineus* y la menos agresiva fue *Poria monticola*.

La magnitud del ataque de los hongos se atribuye al tipo de polímero y a su cantidad en la pared celular, así como a la presencia de tilides en los elementos de vaso y a los extractivos.

REFERENCIAS

- Anonymous. 1972. Laboratory tests of natural decay resistance of timber. Timberlab Papers, Princess Rosborough Laboratory No. 50. Building Research Establishment. Department of the Environment. Garston, Watford. England. 30 p.

- ASTM. 1992. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. ASTM D 2017-81. American Society for Testing and Materials. Volume 04.09, Wood. pp. 348-352.
- Cochran, W. G. y G. M. Cox. 1978. Diseños experimentales. Ed. Trillas. México, D.F. 661 p.
- Charrier, B., G. Janin, J. P. Haluk and J. R. Mosedale. 1995. Colour and chemical characteristics of moon rings in oak wood. *Holzforschung* 49: 287-292
- De la Paz P. O., C. y M. de L. Aguilar E. 1978. Diferencias morfológicas externas y anatómicas de la madera de los encinos blancos y rojos. *Bol. Téc. No. 59. Inst. Nac. Invest. For. México.* 19 p.
- De la Paz P. O., C. y R. Salinas Q. 1977. Prueba rápida de laboratorio indicadora de resistencia a la pudrición en dos especies de encinos. *Rev. Cien. For.* 2 (6): 3-19.
- Eriksson, K. E. L., R. A. Blanchette and P. Ander. 1990. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 407 p.
- Gómez N., M. S., M. R. Echenique y R. Salinas Q. 1969. Indices de laboratorio sobre resistencia de la madera a la pudrición en 11 especies forestales mexicanas. *Bol. Téc. No. 31. INIF. México.* 40 p.
- Hart, J. H. and W. E. Hillis. 1972. Inhibition of wood-rotting fungi by ellagitannins in the heartwood of *Quercus alba*. *Phytopathology* 62 (6): 620-626.
- Herrera R., J. A., M. S. Gómez N. y A. Herrera B. 1976. Durabilidad natural de la madera de especies forestales mexicanas 1: Índices de durabilidad natural de 15 especies forestales. *Bol. Tec. No. 52. INIF. México.* 18 p.
- Herrera R., J. A., M. S. Gómez N. y E. Barretero G. 1980. Durabilidad natural de la madera de 14 especies forestales mexicanas. *Bol. Téc. No. 67. INIF. México.* 21 p.
- Honorato S., J. A. 1997. Características anatómicas de cuatro especies de encino del estado de Puebla. Reporte Técnico del Proyecto 861: Estudio de materias primas. INIFAP, CIR-CENTRO, Campo Experimental San Martinito. 32 p.
- Honorato S., J. A. y J. Hernández P. 1998. Determinación de componentes químicos de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosques.* 4 (2): 79-93.
- Kirk, T. K. and E. B. Cowling. 1984. Biological decomposition of solid wood. *In*: Rowell, R. M. (Ed.). *The chemistry of solid wood.* American Chemical Society, Washington, D. C. pp. 455-487.
- Kirk, T. K. and T. L. Highley. 1973. Quantitative changes in structural components of conifer woods during decay by white- and brown-rot fungi. *Phytopathology* 63 (11): 1138-1342
- Ramos A., C. H. y V. Díaz G. 1981. Instrucciones para recolectar muestras de madera para estudios tecnológicos. *Bol. Div. No. 54. INIF. México.* 15 p.

- Salinas Q., R., R. Echenique M. y L. Gálvez C. 1971. Observaciones acerca de la inducción de resistencia al ataque de hongos productores de pudriciones en madera tratadas con niveles variables de radiaciones gamma. *Rev. Lat. Amer. Microbiol.* 13: 45-58.
- Scheffer, T. C. and E. B. Cowling. 1966. Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Ann. Rev. of Phytopathol* 4: 147-170.
- Torelli, N. and K. Cufar. 1994. Comparative decay resistance of 43 Mexican tropical hardwoods. *Holz als Roh-und Werkstoff* 52: 394-396.

REGENERACIÓN Y CRECIMIENTO DE LA CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) EN SELVAS DE QUINTANA ROO

Laura K. Snook¹

RESUMEN

Para determinar cómo se regenera y cuánto tiempo tarda en crecer la caoba en las selvas de Quintana Roo, México, se usaron historias orales para ubicar nueve rodales esencialmente coetáneos, de entre dos y 75 años de edad, que se establecieron de forma natural después de un huracán, varios incendios o aperturas mecánicas (bacadillas). Se tomaron medidas y se hicieron observaciones de los árboles en dichos rodales usando transectos y parcelas de muestreo. La densidad de caobas que se establecieron después de la perturbación fue de 18 individuos por ha en el caso de incendios y de seis individuos por ha en el caso del huracán. Este patrón indica que las caobas se regeneran mejor en campos abiertos que en claros en el dosel, donde tienen que competir con juveniles y plántulas de otras especies. Los diámetros medios de las caobas de edad conocida fueron de 26 cm a los 45 años y de 37 cm a los 75 años. Extrapolando el último incremento periódico anual (0.38 cm año^{-1}) se calculó que una caoba tardaría más de 120 años en alcanzar un diámetro comercial de 55 cm, aunque los individuos de más rápido crecimiento pueden alcanzar este diámetro en 82 años. Para asegurar la sostenibilidad del aprovechamiento maderable de la caoba en las selvas de Quintana Roo, convendría reevaluar y reajustar los ciclos de corta actuales y tratar de duplicar las condiciones que han favorecido la regeneración en el pasado.

Palabras clave: Caoba, crecimiento, manejo forestal, regeneración, sostenibilidad, *Swietenia macrophylla*.

ABSTRACT

To determine the regeneration dynamics and growth rate of mahogany in the natural tropical forests of Quintana Roo, oral histories were used to find 9

Fecha de recepción: 12 de mayo de 1999.

Fecha de aceptación: 4 de noviembre de 2002.

¹ Center for International Forestry Research (CIFOR), P.O. Box 6596 JKPWB, Jakarta, Indonesia.
Correo-e: l.snook@cgiar.org.

essentially even-aged stands that had become established naturally between 2 and 75 years ago, after a hurricane, forest fires, or mechanical disturbance (logyards) had occurred. Trees in these stands were sampled using transects and sample plots, and differentiated into residual trees that had survived the stand-initiating disturbance and post-disturbance trees that had become established subsequently. New individuals of mahogany became established at an average density of 18 per ha after fires and 6 per ha after hurricane. This pattern indicates that mahoganies become established more successfully on clearings than in gaps, which are densely populated with saplings and seedlings of other species. The average diameters of post-disturbance mahoganies in stands of different ages revealed that mahogany trees grow to 26 cm DBH in 45 years and 37 cm DBH in 75 years. Extrapolating from the last periodic annual increment ($0.38 \text{ cm year}^{-1}$), it was calculated that a mahogany tree requires over 120 years to reach the current commercial diameter of 55 cm, although the fastest growing trees may reach this size in 82 years. To ensure the sustainability of mahogany timber harvests from the forests of Quintana Roo, it would be appropriate to reevaluate the current cutting cycle in light of the calculated growth rates, and to try to duplicate the conditions that have favored natural regeneration of mahogany in these forests.

Key words: Growth, forest management, mahogany, regeneration, sustainability, *Swietenia macrophylla*.

INTRODUCCIÓN

La caoba (*Swietenia macrophylla* King) es la especie maderable más valiosa de los trópicos americanos. Forma parte de las selvas de Centro América, la región Atlántica de Venezuela y una franja que atraviesa la Amazonia colombiana, peruana, boliviana y brasileña (Pennington *et al.*, 1981). Es un árbol emergente con contrafuertes, que puede crecer hasta 70 m en altura y desarrollar un fuste de 300 cm de diámetro (Pennington y Sarukhán, 1968). En Quintana Roo, México se han medido árboles de caoba de 35 m de altura y 150 cm de diámetro (Snook, 1993).

Desde hace siglos, la extracción de la madera de caoba ha sido una de las actividades económicas más importantes en Quintana Roo. Cuando se estableció el Plan Piloto Forestal en 1984, estas actividades fueron reorganizadas para que cada ejido obtuviera los beneficios del aprovechamiento de sus propios recursos forestales (Snook, 1991; Galletti, 1994). Para que estos beneficios se mantengan hacia el futuro, es muy importante diseñar y seguir lineamientos silvícolas para sostener los aprovechamientos anuales.

Para asegurar un rendimiento máximo sustentable de madera a través de los años se requiere: 1) asegurar que se establezcan nuevos árboles en cada área de corta y 2) equilibrar la tasa de extracción con la tasa de crecimiento de los árboles. Esto requiere conocer la ecología de la especie y el desarrollo de los sistemas de manejo correspondientes.

Desde joven (alrededor de 12 años de edad) la caoba empieza a producir flores fragantes, las cuales, aparentemente, son polinizadas por insectos. Los frutos, cápsulas duras de unos 12-18 cm de largo, maduran después de 10-12 meses. Cada fruto contiene unas 40-50 semillas de 1-2 cm de largo, con alas de aproximadamente de más o menos 6-7 cm, las cuales son dispersadas por el viento durante la época seca, cuando la caoba está sin hojas. En Quintana Roo, las semillas de la caoba se dispersan en marzo o abril. Se encontró que las semillas de un árbol madre de 30 m de altura alcanzaron a colonizar un área de más de 60 m de radio hacia el noroeste y el sur (Rodríguez *et al.*, 1994). En esta región las semillas de la caoba germinan entre julio y octubre, cuando empiezan las lluvias (Chavelas, Com. Pers.). Las semillas no mantienen su viabilidad de un año para otro (Lamb, 1966; Parraguirre, 1994; Morris *et al.*, 2000).

La caoba crece a una densidad media de un individuo comercial por ha en las selvas subperennifolias de la parte central y sur de Quintana Roo. Entre las 100 especies de árboles que se desarrollan en estas selvas, el chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) van Royen) y el ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.) son las más abundantes (Medina *et al.*, 1968). Los suelos de la región son calizos y poco accidentados, aunque varían de suficientemente drenados a inundables según la topografía. La precipitación anual es de 1,000 a 1,500 mm por año y la época seca dura de 6 a 7 meses, entre noviembre y junio, cuando caen menos de 100 mm de precipitación por mes (SARH, citado por Snook, 1993). Entre 25 y 50% de los árboles pierden sus hojas durante unas semanas de los meses más secos, marzo-abril (Aguilera, 1958; Miranda, 1958; Pennington y Sarukhán, 1968; Medina *et al.*, 1968; Wilson, 1980).

El estado de Quintana Roo recibe el impacto de uno o más huracanes y tormentas tropicales por año, entre agosto y octubre. Estos huracanes dañan y derriban los árboles en grandes extensiones de selva, como ocurrió en 1942, en 1955 con "Janet", en 1974 con "Carmen" y en 1988 con "Gilberto" (Medina, 1948; Miranda, 1958; Jáuregui *et al.*, 1980; López-Portillo *et al.*, 1990). Los incendios forestales son comunes en años secos y pueden iniciarse a partir de rayos, aunque por lo regular resultan de quemas que escapan de los campos agrícolas. Después de los huracanes, las hojas, ramas y tallos caídos proveen grandes cantidades de combustible, favoreciendo incendios que pueden destruir miles de hectáreas de selva, como sucedió en 1945, 1975 y 1990 (Lamb, 1966; Pérez, 1980; López-

Portillo *et al.*, 1990). El resultado de la alta frecuencia de disturbios catastróficos, es que las selvas de Quintana Roo se regeneran en rodales esencialmente coetáneos, en los cuales la gran mayoría de los árboles se establecen pocos años después del paso del disturbio.

El objetivo del estudio fue determinar cómo se regenera y cuánto tiempo tarda en crecer la caoba en las selvas de Quintana Roo, México, para definir las mejores prácticas de manejo silvícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento de muestreo y colecta de datos

Para estudiar los procesos de establecimiento y desarrollo de la caoba en rodales naturales, se usaron "experimentos" (Diamond, 1986), áreas donde habían ocurrido diferentes tipos de disturbios ("tratamientos experimentales") en el pasado, los cuales dieron lugar al establecimiento de nuevos rodales. Dentro de este conjunto se logró reunir una "cronosecuencia", es decir, una serie de rodales de diferentes edades. Los árboles correspondientes fueron comparados para analizar el proceso de su desarrollo en el tiempo (Oliver, 1982).

En los trópicos, donde los árboles no necesariamente producen anillos de crecimiento anuales, no hay certeza de poder averiguar sus edades al sacarles una muestra con un taladro Pressier. Por lo tanto, se buscaron rodales de edad e historia conocidas, aprovechando las observaciones y conocimientos de los habitantes de los ejidos forestales.

Este estudio se llevó a cabo en el ejido de Noh Bec (Figura 1), donde se ubicaron rodales que se habían establecido después de huracanes, incendios y otros disturbios (incluso patios de concentración de trozos, llamados "bacadillas"), cuyas fechas de origen eran conocidas (Cuadro 1). Para no confundir los efectos del disturbio y del tiempo con las diferencias entre los tipos de suelos, se trabajó en suelos rojos conocidos en la localidad como *kankab*, que cubren 52% del área forestal del ejido (Argüelles, 1991).

Para la colecta de datos se usaron dos sistemas de muestreo: (1) transectos y (2) parcelas. En cada rodal mayor de 1 ha se ubicaron y se midieron todos los árboles de caoba en pie en uno o más transectos de 1 km de largo por 10 ó 20 m de ancho (según la edad del rodal y, por ende, del tamaño y visibilidad de los árboles). Cada transecto se ubicó al azar, utilizando brújula y cinta métrica. En áreas donde las caobas se habían extraído, se midió el diámetro de sus tocones. Éstos se

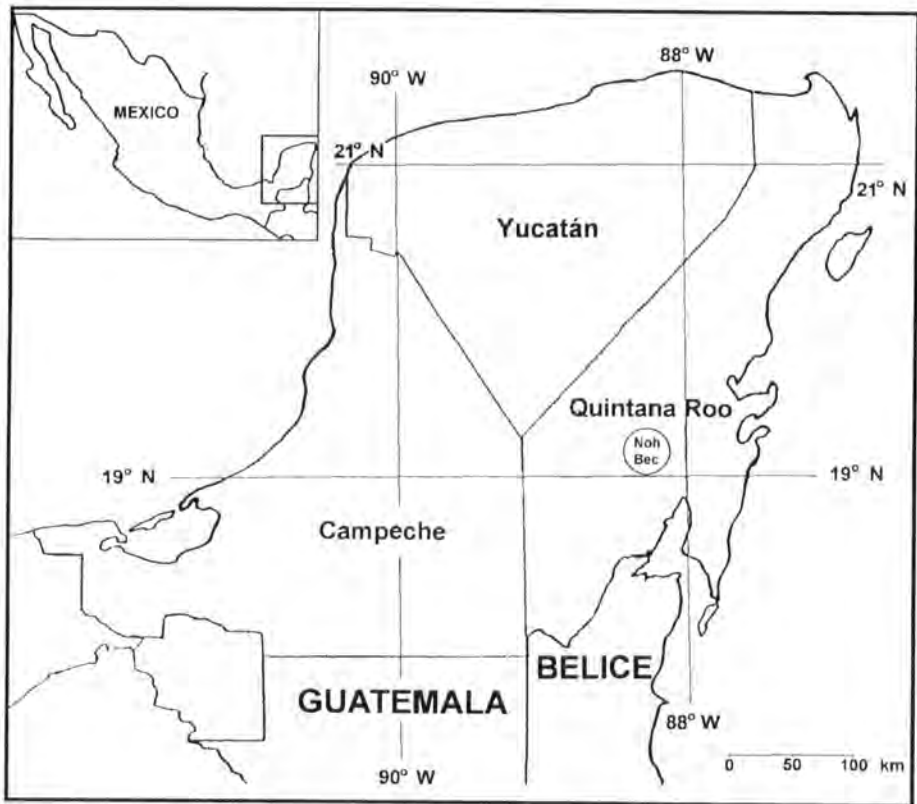


Figura 1. Localización del área de estudio.

transformaron en diámetros a la altura del pecho (DAP) mediante algoritmos derivados de las mediciones del diámetro a la altura del tocón y del DAP de los árboles comerciales en pie. En total se muestrearon 10 transectos de 1 km cada uno.

Además, en cada rodal se ubicaron parcelas de muestreo que incluían árboles de caoba. El tamaño de la parcela varió según la edad del rodal (y por consecuencia el tamaño de los árboles), de la siguiente manera: 9 m² en el rodal de 2 años de edad, 25 m² en el rodal de 15 años, 314 m² (10 m de radio) en rodales de 30-35 años de edad, y 1,000 m² en rodales de 45 años o más. Se intentó establecer por lo menos tres parcelas en cada rodal; sin embargo, esto no siempre fue posible debido a que, sobre todo en el caso de las bacadillas, muchas de ellas se habían vuelto a usar o se habían plantado (Cuadro 1). En cada parcela se identificaron los árboles de tamaño superior a un mínimo

Cuadro 1. Características estimadas y cuantitativas de los rodales de *Swietenia macrophylla* y de las parcelas por rodal.

Rodales				Parcelas	
Edad (años)	Certeza de la edad ¹	Disturbio original	Área (ha)	Tamaño (m ²)	Número
2	C	Pista ²	1	9	5
8	C	Bacadilla	<½	25	2
15	C	Bacadilla	<½	25	2
15	E	Borde camino	<½	25	3
15	C	Incendio	200	25	7
30	C	Incendio	200	314	7
34	C	Huracán	>200	314	7
45	C	Incendio	>200	1000	3
75	N C	Incendio	200	1000	3

¹Edad estimada de los rodales: C = edad confirmada por más de un informante; NC = edad no confirmada por más de un informante; E = edad estimada. ²Pista de aterrizaje abandonada.

preestablecido: 2 m en altura para árboles ubicados en rodales hasta de 15 años de edad o 15 cm de DAP en rodales de mayor edad. El DAP se midió con una cinta diamétrica y si los árboles tenían contrafuertes, los diámetros se medían 20 cm por arriba de éstos. También se registraron evidencias de daño así como sus probables causas.

Durante la primera etapa de trabajo se tomaron muestras de los anillos de crecimiento de las caobas con taladro de Pressler con el objetivo de determinar si éstos eran anuales. Asimismo se colectaron rodajas de diez tocones de caobas de edad conocida, provenientes de una plantación en San Felipe Bacalar y otras seis de la selva, de edades no conocidas. Al advertir que el número de anillos en las muestras de una plantación de 19 años variaba entre 17 y 38 anillos, se concluyó, con el apoyo de las observaciones de Rodríguez *et al.* (1994) y Medina *et al.* (1968), en que los anillos de crecimiento en la caoba no correspondían a ritmos anuales; razón por la cual se decidió abandonar este muestreo.

Análisis de datos

Ni los huracanes ni los incendios destruyeron todos los árboles en la zona afectada (Oliver y Larson, 1990). Por lo tanto, para analizar los patrones de crecimiento y regeneración hubo que diferenciar entre dos grupos de árboles en cada rodal: aquellos que habían sobrevivido al disturbio, de los cuales no había forma de saber sus edades; y los que se establecieron después, cuyas edades correspondían, aproximadamente, al número de años desde el disturbio. Se determinó que un árbol había sobrevivido si traía indicaciones de daño correspondiente al tipo de disturbio que había iniciado la regeneración del rodal y si fue de un tamaño mayor que los demás árboles en el rodal (Lorimer, 1985).

En los rodales afectados por incendios los daños consistieron en cicatrices en las bases de los árboles, en tanto que en los rodales afectados por un huracán los daños se observaron como árboles doblados o con ramas rotas y rebrotadas. A diferencia de los incendios, los huracanes afectan más a los árboles grandes que a los árboles pequeños. Por lo tanto, los árboles pequeños que sobrevivieron en el sotobosque escaparon a cualquier daño. Éstos se compararon con otros individuos de edad conocida de las mismas especies, para decidir cómo agruparlos; en caso de duda, se incluyeron en la categoría de regeneración post-huracán. Los datos fueron analizados con los programas Systat y Sygraph (Wilkinson, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Supervivencia de las caobas a los huracanes e incendios

Los árboles y tocones de caoba que se encontraron en los transectos de los diferentes rodales fueron clasificados según sus tamaños y evidencias de daño de la siguiente manera: aquellos que murieron como consecuencia del disturbio (mortalidad); los que sobrevivieron al disturbio (sobrevivientes); y los establecidos después del disturbio (regeneración). Es posible que algunos árboles del grupo mortalidad fueran destruidos por un incendio, sin dejar evidencias. De los árboles y tocones que quedaron después del disturbio que dio lugar al rodal, los individuos de caoba que murieron en o sobrevivieron a la misma, se presentan en el Cuadro 2.

La caoba resiste los vientos por sus contrafuertes, su madera fuerte y flexible y la arquitectura de su copa, la cual deja pasar el viento entre sus pocas ramas gruesas (Snook, 1993). Además, es capaz de sobrevivir a los incendios, debido a que tiene una corteza gruesa.

Después del huracán de 1955 las caobas sobrevivieron en una densidad promedio de 2.8 individuos adultos por ha, con una tasa de supervivencia mayor

Cuadro 2. Proporción de árboles de caoba (*Swietenia macrophylla*) muertos o sobrevivientes a huracanes o incendios.

Tipos de disturbio	Años desde el disturbio	Mortandad / ha	Sobrevivientes	
			(individuos / ha)	(%)
Incendio	15	0	2.0	100
Incendio	30	3.0	2.0	40
Incendio	45	1.0	1.0	48
Incendio	75	1.3	0.5	29
Huracán	34	2.5	2.8	53

al 50%. Estos resultados son similares a las observaciones de Lamb (1966), quien registró tres caobas sobrevivientes por ha, seis años después del huracán de 1942 que afectó a Belice. En los transectos evaluados en las áreas incendiadas se encontraron entre 0.5 y 2.0 caobas sobrevivientes por ha. La menor densidad y porcentaje de caobas sobrevivientes en los rodales más viejos (Cuadro 2), puede indicar que algunas de ellas habían muerto en los años subsiguientes, tal vez por haber sufrido algún tipo de daño.

La supervivencia de las caobas grandes a los incendios y huracanes es clave para la regeneración de la especie, debido a que sus semillas no se mantienen viables más de un año (Parraguirre, 1994; Morris *et al.*, 2000), y a que las plántulas no se establecen ni sobreviven en el sotobosque (Negreros-Castillo *et al.*, datos sin publicar; Snook y Negreros-Castillo, datos sin publicar). Estos sobrevivientes producen las semillas para recolonizar las áreas abiertas después de que los disturbios propician aperturas en el dosel.

Regeneración de la caoba en rodales mixtos

La densidad de caobas jóvenes, establecidas después de los incendios y del huracán Janet en los transectos que atravesaban los diferentes rodales, se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Densidad de árboles de caoba establecidos después de los incendios y un huracán.

Tipo de disturbio	Años después del disturbio	Individuos por ha
Incendio	15	133
Incendio	30	22
Incendio	45	15
Incendio	75	16
Huracán	34	6.3

Los resultados demostraron dos fenómenos principales. Primero, se observó una reducción abrupta en la densidad de árboles de caoba por ha entre los 15 y 30 años de edad. Esta reducción se llevó a cabo durante la época de mayor crecimiento de la caoba (Cuadro 4) y correspondió al proceso de autoclareo, es decir, a la mortandad que ocurrió en forma natural con proporción al aumento del tamaño de cada individuo (Oliver, 1982; Westoby, 1984).

Cuadro 4. Diámetro promedio (DAP) e incremento promedio anual (IPA), en árboles de caoba que se establecieron después de un incendio en rodales de edad conocida.

Edad (años)	15	30	45	75
DAP	3.1 ± 0.2	19.4 ± 2.8	25.9 ± 2.3	37.2 ± 1.4
IPA	0.20	1.09	0.44	0.38
N	131	18	30	74

N = número de caobas medidas en cada categoría de edad. IPA = (DAP edad2 - DAP edad1)/(edad2 - edad1).

Segundo, se observó que la densidad de las caobas en aquellos rodales establecidos después de los incendios ocurridos hace 30 años o más (un promedio de 18 individuos ha^{-1}) es tres veces mayor que en aquellos rodales desarrollados luego del huracán (6 individuos ha^{-1}). Sin embargo, la densidad de árboles semilleros posterior al huracán fue dos veces mayor (2.8 individuos por ha^{-1}) que los registrados a continuación del incendio (1.4 individuos ha^{-1} , en promedio) (Cuadro 2). Lo anterior indica que las condiciones para el establecimiento de la caoba fueron más favorables y/o más extensas después de los incendios, los cuales destruyeron todas las plántulas y casi todos los árboles adultos.

La menor abundancia de nuevos árboles de caoba en zonas afectadas por un huracán comparada con zonas que presentaron disturbio por incendios o aperturas mecánicas, indica que aún cuando se abren espacios en el dosel, la caoba posee una baja capacidad de competencia con individuos ya establecidos. Los árboles del sotobosque, incluyendo las etapas juveniles de otras especies, se encuentran en densidades de hasta 100,000 plántulas y 8,000 árboles por ha (Snook, 1993). Estos individuos típicamente sobreviven a los disturbios que abren claros en el dosel, tales como los huracanes o la extracción de madera y aparentemente su presencia impide el establecimiento de nuevos árboles de caoba.

Los datos derivados de las parcelas de muestreo se usaron para averiguar la densidad relativa de caobas en los manchones de árboles evaluados (Cuadro 5). En los rodales más jóvenes las caobas se establecieron con mayor densidad en donde el disturbio fue más intenso. La mayor densidad de caobas se encontró en el borde del camino, sobre el suelo amontonado. En estos sitios, las caobas tenían una altura promedio de 5 a 7 m y una densidad de 5,600 individuos por ha^{-1} , lo que representa casi 40% del total de los árboles evaluados en el rodal.

En los rodales mayores de 30 años, la caoba constituyó hasta 10% de los árboles en una mezcla aproximada de 40 especies. La menor densidad de caobas en la zona del incendio de 30 años, refleja probablemente la mortandad que resultó del paso de un segundo incendio a los 15 años del establecimiento del rodal. Aún en los rodales de mayor edad, las caobas se desarrollaban en una densidad entre 35 a casi 50 individuos por ha. Se observa también que a mayor edad del rodal, la caoba representa una mayor proporción del área basal (Cuadro 5). Esto se debe a que crece más rápido que casi todas las demás especies (Snook, 1993).

Cuadro 5. Densidad y proporción de las caobas post-disturbio, en número y área basal, en los manchones de árboles evaluados.

Rodal (origen)	Edad (años)	Individuos ha (N ⁰)	Individuos ha (%)	Área Basal*	
				(m ² ha ⁻¹)	(%)
Pista	2	1400	11	-	-
Bacadilla	8	4200	23	-	-
Bacadilla	15	2000	21	-	-
Borde camino	15	5600	38	-	-
Incendio	15	1700	16	-	-
Incendio	30	32	6	2.2	7
Huracán	34	37	8	2.5	7
Incendio	45	47	10	4.7	18
Incendio	75	43	10	7.4	27

*Se calcularon las áreas basales para árboles mayores a 15 cm de DAP [$AB = \pi(d/2)^2$].

Crecimiento de la caoba en rodales mixtos

El crecimiento de la caoba fue determinado con base en los tamaños de los individuos presentes en los rodales de diferentes edades. Sin embargo, el diámetro promedio de las caobas en los de mayor edad conocida fue de 37 cm, el cual es bastante menor que el límite diamétrico comercial de 55 cm. Para poder estimar el tiempo que tarda una caoba en alcanzar esta medida se derivó una fórmula de los incrementos periódicos anuales (IPA) de árboles de caoba de edades conocidas, incorporando los individuos medidos en las parcelas y los transectos (Cuadro 4).

En el Cuadro 4 se observa que el incremento periódico anual varía según la edad del árbol. La tasa de crecimiento máximo ocurre entre los 15 y los 30 años,

sobrepasando 1 cm anual. El incremento diamétrico de las caobas entre 30 y 75 años de edad es de 0.44 cm año^{-1} , casi idéntico al incremento de 0.43 cm año^{-1} calculado por Juárez (1988), quien realizó tres remediciones efectuadas a intervalos de cinco años, en individuos de caoba entre 25 y 35 cm de diámetro, sobre suelos tipo *ka'kab*. Un incremento promedio semejante se puede derivar de los datos de Whigham *et al.* (1998), quienes citaron que el crecimiento de árboles de caoba remedidos entre 1993 y 1996 en Noh Bec varió entre 0.20 y 0.65 cm año^{-1} , lo que refleja patrones de precipitación pluvial.

Si se considera que el rodal evaluado de mayor edad tiene 75 años y que la caoba seguirá creciendo en el futuro a la misma tasa de incremento diamétrico anual como lo hacía entre los 45 y 75 años, es posible determinar el tiempo que tardará una caoba para alcanzar un diámetro mayor mediante la siguiente fórmula, derivada de los datos del Cuadro 4:

$$\text{Edad}_2 \text{ (años)} = \left[\frac{(\text{DAP}_{\text{edad}_2} \text{ (cm)} - 25.9 \text{ cm})}{0.38 \text{ cm año}^{-1}} \right] + 45 \text{ años}$$

Si estas suposiciones son ciertas, una caoba que crece a una tasa media en la selva de Noh Bec alcanzaría el límite diamétrico de 55 cm en 122 años. Esto quiere decir que los árboles de caoba que miden alrededor de 80 cm de DAP y que son extraídos de estas selvas en la actualidad, probablemente se establecieron hace más de 200 años; consecuentemente, los árboles más grandes medidos durante este estudio tendrían alrededor de 350 años.

Algunos individuos crecen más rápido que el promedio y otros más lentamente. Por lo tanto, las gráficas de las frecuencias de caobas por clase diamétrica en los rodales de diferentes edades pasan de la forma de una J invertida a una curva de campana, un fenómeno típico en rodales coetáneos (Figura 2). Este tipo de estructura diamétrica se ha observado en caobas de otras partes de Latinoamérica (Finol, 1964; Gullison y Hubbell, 1992). El rango de diámetros entre los individuos de rápido crecimiento y los que crecen más lentamente, explica la presencia en la bacadilla "El Remate" de dos caobas con 55 cm de DAP a los 34 años de edad, entre los 57 individuos de la especie registrados por hectárea (4% del total) (Plan Piloto Forestal, 1987). El diámetro medio de las caobas medidas en esa bacadilla fue de 25.4 cm, tamaño que cae entre los promedios para esta edad señalados en el Cuadro 4.

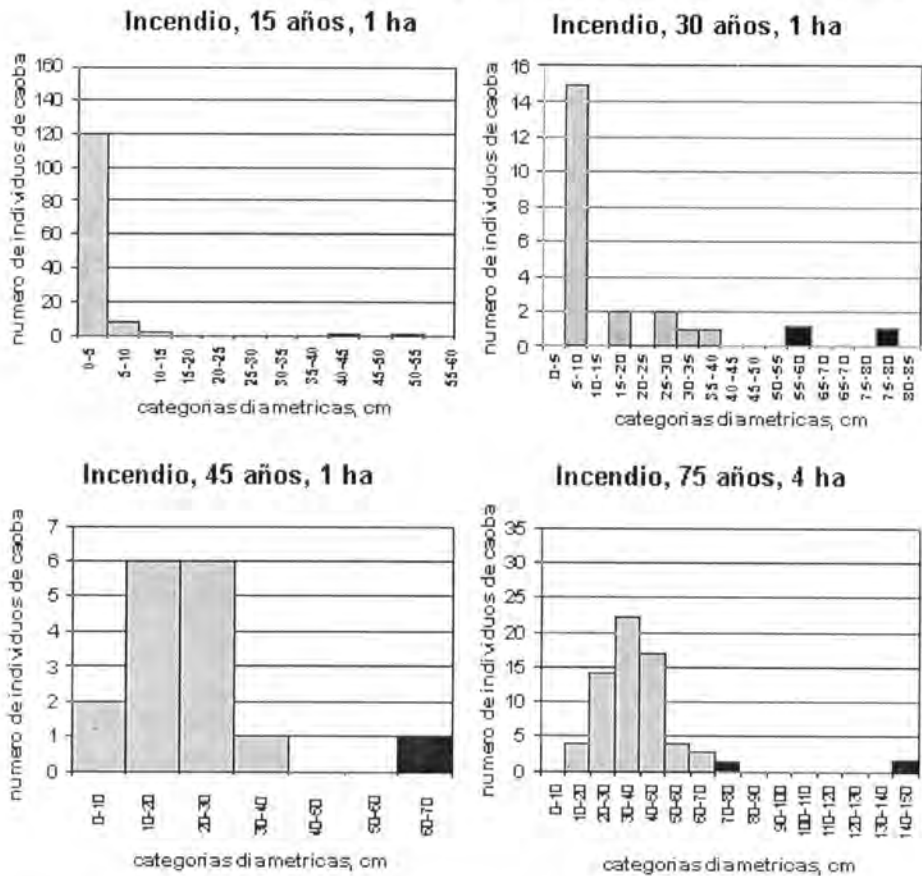


Figura 2. Número de caobas por categoría diamétrica en cuatro rodales de diferentes edades esencialmente coetáneos que resultaron de incendios. Las barras negras corresponden a los sobrevivientes de la perturbación inicial. Las categorías vacías en el rodal de 30 años reflejan un segundo incendio que ocurrió a los 15 años del primero.

Al dividir los árboles de caoba de cada rodal en tercios, entre los de rápido crecimiento, los de crecimiento intermedio y los de crecimiento lento, las tasas de incremento diamétrico anual para cada grupo variaron de 0.32 cm año^{-1} para los de lento crecimiento, hasta 0.67 cm año^{-1} para los de rápido crecimiento. Si estos grupos siguen creciendo a la misma tasa, los de rápido crecimiento alcanzarían 55 cm de DAP en aproximadamente 82 años; sin embargo, dos terceras partes de los árboles de caoba tardarían más de un siglo, o casi dos, en alcanzar este diámetro (Figura 3).

CRECIMIENTO DE LA CAOBA

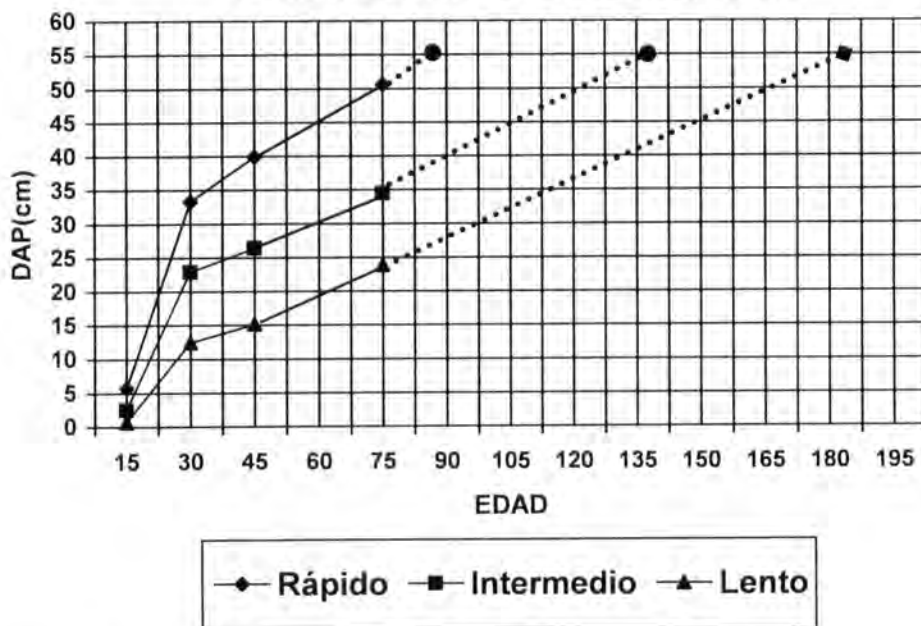


Figura 3. Tasas de crecimiento diamétrico de la caoba al dividir los árboles medidos en cada rodal coetáneo en tercios: los de rápido crecimiento, los de crecimiento intermedio y los de lento crecimiento. Las líneas punteadas representan la extrapolación de las tres tasas de crecimiento hacia el futuro hasta alcanzar el límite diamétrico comercial de 55 cm.

Implicaciones para el manejo silvícola

Para asegurar el futuro de la caoba, el manejo silvícola debería de intentar duplicar, hasta donde sea posible, las condiciones que han favorecido su regeneración en el pasado. Por un lado, hay que mantener fuentes de semillas suficientes para cubrir las áreas aprovechadas. Esto podría lograrse en parte con una modificación en el calendario de extracción para permitir que las caobas dejen caer sus semillas antes de ser derribadas, pues en la actualidad, los árboles de esta especie se cortan antes de alcanzar la madurez o de dispersar sus semillas. Además, sería aconsejable dejar árboles semilleros bien distribuidos a una densidad adecuada (tal vez uno a barlovento por cada 3 ha). De otra forma, será necesario plantar nuevos árboles en las áreas de corta.

Tal vez lo más difícil será contar con la suficiente luz para que las plántulas de caoba puedan establecerse. Se ha encontrado que las bacardillas favorecen el establecimiento y crecimiento de la caoba, pero éstos cubren apenas 1-5% del área de corta. Para aumentar el área con condiciones semejantes a las causadas por incendios o prácticas mecánicas, las cuales han favorecido el establecimiento de la caoba, sería necesario llevar a cabo tratamientos especiales en combinación con o después de la extracción. Donde hay suficientes semillas y las condiciones ambientales son adecuadas, se podría esperar una densidad de 40-50 árboles comerciales de caoba por hectárea, más de 30 veces su densidad promedio actual.

Para garantizar la sostenibilidad de la tasa de extracción, sería prudente tomar un turno de 120 años para que la caoba alcance un límite diamétrico comercial de 55 cm, con ciclos de corta correspondientes a 40 años por ejemplo. Actualmente, en la zona de estudio se realiza la extracción en un ciclo de corta de 25 años (Snook, 1998; Snook, 1999). Se extraen los árboles comerciales de 55 cm de DAP o mayores y se dejan para la siguiente corta los árboles llamados "reserva", de 34-55 cm de DAP. Dentro de los árboles de caoba considerados en esta categoría y de acuerdo con las tasas de crecimiento calculadas a través de este estudio, solo aquellos individuos que presenten un rápido crecimiento y un diámetro de más de 40 cm de DAP, podrán llegar a alcanzar el límite comercial de 55 cm de DAP durante un periodo de 25 años. Lo anterior implica que probablemente al regresar a las áreas de corta para el siguiente ciclo, las comunidades forestales de Quintana Roo tendrán un menor número de árboles de caoba susceptibles para corta y en consecuencia, un menor volumen de madera de lo esperado.

Convendría hacer más estudios de crecimiento, usando remediciones periódicas de árboles de caoba de varios tamaños y edades, para confirmar estos patrones de crecimiento. Sin embargo, es notable que en Belice, donde se aprovecha la caoba de selvas muy semejantes, aunque con suelos más profundos y una mayor precipitación, se utilice un ciclo de corta de 40 años.

CONCLUSIONES

En las selvas de Quintana Roo la estrategia de regeneración de la caoba ha consistido en: 1) la capacidad que tienen los árboles adultos de sobrevivir a los huracanes e incendios que periódicamente destruyen a la mayoría de los individuos de otras especies; 2) la producción, por los árboles sobrevivientes, de semillas aladas capaces de dispersarse con el viento hacia las áreas recién abiertas; 3) la posibilidad que tienen las plántulas de establecerse en campos

abiertos; y 4) la capacidad de la caoba para desarrollarse exitosamente en rodales mixtos con especies de la misma edad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo de las siguientes instituciones: Programa Fulbright del Departamento de Educación de los EUA, Fondo Charles A. Lindbergh, Instituto de Recursos Naturales Tropicales (TRI) de la Universidad de Yale, New Haven, Connecticut y el Acuerdo Forestal México-Alemania del GTZ. Asimismo, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a través de su Campo Experimental San Felipe Bacalar y el Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), también brindaron apoyos importantes. La investigación se llevó a cabo en el ejido de Noh Bec, Quintana Roo y reconozco particularmente el apoyo del señor Abel Rodríguez Tun, en la colecta de datos y de los señores Bernardo Blanco y Francisco Tadeo, quienes aportaron valiosa información histórica. De igual manera al Biol. Javier Chavelas Polito del INIFAP, por sus conocimientos de botánica y la hospitalidad brindada.

REFERENCIAS

- Aguilera-Herrera, N. 1958. Suelos. *In*: Beltrán, E. (Ed). Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. IMRNR. México pp. 177-212.
- Diamond, J. 1986. Overview: Laboratory, field experiments and natural experiments. *In*: Community Ecology Diamond, J. and T. J. Case (Eds.). Harper & Row. New York, NY. USA. pp. 3-22.
- Finol, H. 1964. Silvicultural study of some commercial species in the University forest of Caimital, Barinas. *Revista Forestal Venezolana* 7 (10/11): 17-63.
- Galletti, H. 1994. Las actividades forestales y su desarrollo histórico. *In*: Estudio integral de la frontera México-Belice. CIQRO. Chetumal, Quintana Roo, México. pp. 109-171.
- Gullison R., E. y S. Hubbell. 1992. Regeneración natural de la mara (*Swietenia macrophylla*) en el bosque Chimanes, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 19: 43-56.
- Jáuregui, E., J. Vidal y F. Cruz. 1980. Los ciclones y tormentas tropicales en Quintana Roo durante el periodo 1871-1978. *In*: Memorias del Simposio Quintana Roo: Problemática y perspectiva. Cancún, Quintana Roo, México. Octubre 7-11, 1980. SAG. pp. 47-64.
- Juárez B., C. J. 1988. Análisis del incremento periódico de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y cedro (*Cedrela odorata*) en un relicto de selva en el Estado de Campeche. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 87 p.

- Lamb, F. B. 1966. Mahogany of tropical America: Its ecology and management. University of Michigan Press. Ann Arbor, MI, USA. 220 p.
- López-Portillo, J., M. R. Keyes, A. González, E. Cabrera C. y O. Sánchez. 1990. Los incendios de Quintana Roo: ¿Catástrofe ecológica o evento periódico?. *Ciencia y Desarrollo* 16(91): 13-57.
- Lorimer C., G. 1985. Methodological considerations in the analysis of forest disturbance history. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 200-213.
- Medina R., B. 1948. La explotación forestal en el Territorio de Quintana Roo. Tesis Profesional. Departamento de Bosques, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 67 p.
- Medina R., B., R. A. Cuevas, R. y M. de los Santos, V. 1968. Ajuste al proyecto de ordenación forestal. UIEF-MIQRO. Chetumal, Quintana Roo, México. 200 p.
- Miranda, F. 1958. Estudios acerca de la vegetación. *In*: Beltrán, E. (Ed.). Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. México, D.F. pp. 213-272.
- Morris, M. H., P. Negreros-Castillo and C. Mize. 2000. Sowing date, shade and irrigation affect big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King). *Forest Ecology and Management* 132: 173-181.
- Negreros-Castillo, P., L. K. Snook and C. Mize. No publicado. Regenerating mahogany (*Swietenia macrophylla*) from seed in Quintana Roo, Mexico: The effect of sowing method and clearing treatment.
- Oliver, C. D. 1982. Stand development: Its uses and methods of study. *In*: Means, J. E. (Ed.). Forest succession and stand development research in the Pacific Northwest. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 100-112.
- Oliver, C. D. and B. C. Larson. 1990. Forest stand dynamics. Biological Resource Management Series. McGraw-Hill. New York, NY, USA. 467 p.
- Parraguirre L., C. 1994. Germinación de las semillas de trece especies forestales comerciales de Quintana Roo. *In*: Snook, L. y A. Barrera de Jorgenson (Eds.). Madera, Chicle, Caza y Milpa: Contribuciones al manejo integral de las selvas de Quintana Roo, México. PROAFT/INIFAP/US-AID/WWF-US. pp. 67-80.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 1968. Árboles tropicales de México. INIF/FAO. México, D. F. 413 p.
- Pennington, T. D., B. T. Styles and D. A. H. Tayler. 1981. Meliaceae. *Flora Neotropica Monograph* 28. 472 p.
- Pérez V., G. 1980. El clima y los incendios forestales en Quintana Roo. *In*: Memorias del Simposio Quintana Roo: Problemática y perspectiva. Cancún, Quintana Roo, México. Octubre 7-11, 1980. SAG. pp. 65-80.
- Plan Piloto Forestal. 1987. El Remate, Ejido Noh Bec. Documento interno inédito. Chetumal, Quintana Roo, México. 6 p.

- Rodríguez S., B., J. Chavelas P. y X. García C. 1994. Dispersión de semillas y establecimiento de caoba (*Swietenia macrophylla*) después de un tratamiento mecánico del sitio. *In*: Snook, L. y A. Barrera de Jorgenson (Eds.). Madera, Chicle, Caza y Milpa: Contribuciones al manejo integral de las selvas de Quintana Roo, México. PROAFT/INIFAP/USAID/WWF-US. pp. 81-90.
- Snook, L. K. 1991. Opportunities and constraints for sustainable tropical forestry: Lessons from the Plan Piloto Forestal, Quintana Roo, Mexico. *In*: Proceedings of the Humid Tropical Lowlands Conference: Development Strategies and Natural Resource Management. Panama, Panama. June 17-21, 1991. Vol. V. pp. 65-83.
- Snook, L. K. 1993. Stand dynamics of mahogany (*Swietenia macrophylla*) and associated species after fire and hurricane in the tropical forests of the Yucatan Peninsula, Mexico. Doctoral dissertation. Yale School of Forestry and Environmental Studies. New Haven, CT, USA. 254 p.
- Snook, L. K. 1998. Sustaining harvests of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) from Mexico's Yucatan forests: past, present and future. *In*: Primack, R. B., D. Bray, H. A. Galletti and I. Ponciano (Eds.). Timber, tourists and temples: Conservation and development in the Maya forest of Belize, Guatemala and Mexico. Island Press. Washington, D. C., USA. pp. 61-80.
- Snook, L. K. 1999. Aprovechamiento sostenido de caoba de las selvas de la Península de Yucatán, México: Pasado, presente y futuro. *In*: Primack, R. B., D. Bray, H. A. Galletti e I. Ponciano (Eds.). La selva Maya: Conservación y desarrollo. Siglo Veintiuno Editores. México D. F. pp. 98-119.
- Snook, L. K. and P. Negreros-Castillo. No publicado. Regenerating mahogany (*Swietenia macrophylla* King) on clearings in Mexico's Maya forest's: The effect of clearing method and cleaning on seedling survival and growth.
- Westoby, M. 1984. The self-thinning rule. *Advances in Ecological Research* 14: 167-225.
- Whigham, D. F., J. F. Lynch and M. B. Dickinson. 1998. Dynamics and ecology of natural and managed forests in Quintana Roo, Mexico. *In*: Primack, R. B., D. Bray, H. Galletti and I. Ponciano (Eds.). Timber, tourists and temples: Conservation and development in the Maya forest of Belize, Guatemala and Mexico. Island Press. Washington, D. C., USA. pp. 267-281.
- Wilkinson, D. 1988. Systat: The system statistics for the PC. Systat, Inc. Evanston, IL, USA. 379 p.
- Wilson, E. M. 1980. Physical geography of the Yucatan Peninsula. *In*: Mosley, E. H. and E. D. Terry (Eds.). Yucatan: A world apart. University of Alabama Press. Tuscaloosa, AL, USA. pp. 5-40.

VARIACIÓN EN EL PATRÓN DE ALARGAMIENTO DEL BROTE TERMINAL EN DIFERENTES PROCEDENCIAS DE *Pinus engelmannii* Carr.

Rodrigo Rodríguez Laguna¹, J. Jesús Vargas Hernández²,
Víctor M. Cetina Alcalá², Carlos Ramírez Herrera² y
J. Alberto Escalante Estrada³

RESUMEN

Con la finalidad de estimar el potencial de adaptación de diferentes poblaciones naturales de *Pinus engelmannii* a condiciones de sequía, se evaluó el nivel de variación geográfica en la supervivencia, crecimiento anual en altura y fenología del brote terminal en un ensayo de procedencias establecido en Tecamac, Edo. de México. Se detectó una amplia variación entre procedencias en la supervivencia de las plantas, así como en la tasa y el patrón de crecimiento del brote terminal. La mayoría de las procedencias fueron relativamente estables en este último aspecto de un año a otro ($r=0.74$), excepto las del estado de Chihuahua que crecieron un poco más en el segundo año. Se presentó un desfaseamiento en el inicio y terminación del crecimiento del brote de un año a otro, lo que retrasó los eventos fenológicos asociados en el segundo año de evaluación. En promedio, la duración de la estación de crecimiento en 1998 fue de casi cuatro meses (118 días), habiendo iniciado su crecimiento el día 94 (4 de abril) y terminado el día 212 (31 de julio). La longitud del periodo de crecimiento varió de 107 a 127 días entre procedencias. La proporción de plantas que presentaron un segundo ciclo de alargamiento aumentó de 5.5 a 55% del primero al segundo año. La proporción de plantas con un segundo ciclo de crecimiento en el primer año y la longitud de este segundo ciclo en el segundo año presentaron un patrón de variación asociado al origen geográfico del germoplasma.

Fecha de recepción: 4 de marzo de 1999

Fecha de aceptación: 13 de diciembre de 2002

¹Colegio de Posgraduados, Instituto de Recursos Naturales. Especialidad Forestal. C.P. 56230 Montecillo, Estado de México. Actualmente en: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Campus Tulancingo. correo-e: rodris71@yahoo.com.mx

²Colegio de Posgraduados, Instituto de Recursos Naturales. Especialidad Forestal.

³Colegio de Posgraduados, Instituto de Recursos Naturales. Especialidad de Botánica.

Palabras clave: Adaptación, alargamiento, fenología del brote, patrón de crecimiento, *Pinus engelmannii*, variación geográfica.

ABSTRACT

In order to estimate the adaptative potential of natural populations of *Pinus engelmannii* to drought conditions, the level of geographic variation in seedling survival, annual height growth and shoot phenology was evaluated in a seed sources test in Tecamac, Mexico. During the assessment period, a broad variation among populations was found both in seedling survival, height growth rate and shoot phenology. Most populations were relatively stable in shoot growth from the first to the second year ($r=0.74$), except those from Chihuahua which grew more in the second year. All populations modified their shoot growing period from year to year, delaying the phenological events associated with initiation and termination of growth in the second year. In 1998, the growing season was almost four months long (118 days), which began on day 94 (April 4) and finished on day 212 (July 31). Among populations the period of shoot growth varied from 107 to 127 days. The proportion of seedlings showing a second cycle of shoot growth increased from 5.5 to 55% from the first to the second year. Seedling survival, the percentage of seedlings with a second growth cycle in the first year and shoot length of the second growth cycle in the second year, showed a variation pattern associated with the geographic origin of germplasm.

Key words: Adaptation, lengthening, shoot phenology, growth pattern, *Pinus engelmannii*, geographic variation.

INTRODUCCIÓN

El establecimiento de ensayos de procedencias por especie es el procedimiento experimental más común para comparar el comportamiento y la productividad de poblaciones (orígenes de semilla) en sitios y ambientes diferentes, previamente caracterizados. Estos ensayos se pueden establecer en ambientes extremos e incluir un intervalo amplio de la distribución natural de la especie de interés, con el objeto de reconocer los patrones de variación e identificar regiones amplias en las que se localicen las mejores fuentes de semilla, en términos de adaptación y productividad (Nienstaedt, 1980). En *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, por ejemplo, se ha documentado que las poblaciones originarias del sur de las Montañas Rocallosas son más productivas que otras de la misma especie, al establecerse en el suroeste de Estados Unidos (Lavender y Overton, 1972).

Pinus engelmannii Carr. tiene importancia económica en el norte del país, pues su madera se utiliza como materia prima en la industria de aserrío, tableros y de

celulosa y papel. La especie crece en suelos pobres por lo que puede tener características apropiadas para ajustarse a ambientes limitantes (Martínez, 1948; Perry, 1991).

En este estudio se presenta información del nivel de variación existente entre procedencias de *P. engelmannii*, en el patrón estacional de alargamiento de la yema terminal (crecimiento anual, fenología y duración de la estación de crecimiento), considerando que el alargamiento tiene un papel adaptativo importante en las etapas juveniles de desarrollo de las especies forestales.

Ruiz y Velasco (1994) encontraron una variación significativa entre procedencias de esta especie al evaluar su crecimiento y distribución de la biomasa bajo dos niveles de humedad del suelo en etapa de vivero. Sin embargo, es necesario establecer si las diferencias se conservan bajo condiciones de campo o si existen otras características relacionadas con el patrón de crecimiento anual, que también tengan valor adaptativo al establecerse en sitios con una precipitación anual relativamente baja (598 mm). La importancia de elegir las poblaciones con un patrón estacional sincronizado a las condiciones ambientales de sitios con estas características, es con el fin de evitar que las plantas inicien el alargamiento de la yema antes de que haya pasado el periodo con riesgo de heladas, o que continúen esta etapa aún en presencia de las primeras temperaturas invernales.

Cuando la yema terminal crece fuera del periodo favorable, se pueden presentar daños importantes en las zonas meristemáticas que repercuten sobre la supervivencia, el crecimiento y otros procesos fisiológicos de las plantas (Wright, 1976; Lavender, 1981; Zobel *et al.*, 1987). Por ejemplo, en *Pinus strobus* L. las sequías ligeras durante el verano reducen en un 40% la capacidad de formación de primordios foliares (Zahner, 1968).

La posible variación en la adaptación y productividad de las poblaciones de *P. engelmannii* podría definir lineamientos provisionales para el manejo y transferencia de germoplasma de esta especie en la región norte del país, especialmente entre sitios con diferentes niveles de precipitación anual. Por ello, se planteó como objetivo de este estudio determinar el nivel de variación en la supervivencia de las plantas, en el patrón de crecimiento anual y en la fenología del brote terminal en procedencias de *P. engelmannii*.

Las procedencias fueron colectadas en una amplia zona de su área de distribución natural, lo cual favorecerá la identificación de poblaciones de la especie, que tengan adaptabilidad a las condiciones en que se plantaron; no obstante que el sitio de

evaluación está fuera del área de distribución natural de la misma, es posible determinar las diferencias en el comportamiento y la productividad de las poblaciones y con ello delimitar y ampliar los sitios potenciales de crecimiento de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen del germoplasma y ubicación de la plantación

La planta utilizada proviene de la colecta de semilla de 20 poblaciones naturales de *P. engelmannii* de los estados de Chihuahua y Durango. La ubicación geográfica y los datos más importantes de las procedencias se presentan en el Cuadro 1.

Debido al reducido crecimiento en altura de esta especie durante los primeros años de vida, parecido a un estado semi-cespitoso (Perry, 1991), las plantas permanecieron en vivero durante 3.5 años. En ese periodo se aplicaron las labores de cultivo necesarias (poda de raíz, riegos, fertilización y control de malezas) hasta que las plantas alcanzaron una altura promedio de 13.5 cm.

Posteriormente las plantas se establecieron en el Campo Experimental Tecamac del Colegio de Postgraduados, que se localiza en el municipio del mismo nombre, en el Estado de México. Las coordenadas geográficas del sitio de plantación son 19° 43' latitud norte y 98° 56' longitud oeste, a una elevación de 2260 msnm; la precipitación media anual de los últimos 10 años ha sido de 598 mm y la temperatura media anual oscila entre 14 y 16 °C, por lo que se considera que el sitio presenta un clima templado con veranos cálidos (INEGI, 1988).

La plantación se estableció en el mes de julio de 1996 durante la época de lluvias en un terreno agrícola abandonado, con topografía plana y una pendiente menor a 2%. Se efectuó un subsoleo cruzado en el área, y se colocaron las plantas en el punto donde se cruzaron las líneas. Se establecieron seis bloques y las 20 procedencias se distribuyeron al azar dentro de cada bloque. En cada uno de ellos, las parcelas se conformaron por un total de 15 plantas, a un espaciamiento de 2 x 2 m, para generar una densidad de 2500 individuos por ha. En el periodo de evaluación se realizaron labores de mantenimiento como control de malezas, en forma manual; de chapulines, con Folidol M-50 en dosis de 1.5 L/ha, cuidando que no entrara en contacto con las plantas de pino. El control de roedores (tuzas y hurones), se llevó a cabo mediante trampas en diferentes partes del terreno. En el periodo intenso de sequía del segundo invierno posterior al

Cuadro 1. Localización geográfica de las 20 procedencias de *P. engelmannii* utilizadas en el estudio.

Procedencia No./Nombre	UAF ¹ No.	Paraje	Coordenadas		Altitud (msnm)	pp anual (mm)
			Lat. N.	Long. O.		
Estado de Durango						
1 El Mezquital	10	Camp. Caminos	23°19'	104°18'	2750	650.0
2 El Mezquital	10	Mesa de la Madera	23°25'	104°21'	2350	600.0
3 Chavarría	6	Cordón de Cavaría	23°39'	105°34'	1970	1220.0
4 Santa Bárbara	8	La Y Griega	23°42'	104°54'	2350	773.9
5 La Casita	9	La Casita	23°51'	104°45'	2400	600.0
6 El Madroño	7	Mesa del Madroño	23°53'	105°05'	2600	810.5
7 Río Chico	8	La Palmita	23°56'	104°52'	2290	1000.0
8 Los Artículos	7	M. Chinchideagua	23°56'	105°10'	2450	625.0
9 Pastores	7	Cordón del Hueso	24°00'	105°06'	2600	668.0
10 Vencedores	4	-----	24°28'	105°38'	2600	880.0
11 Los Pachones	2*	Los Pecadores	24°42'	105°29'	2500	658.8
12 Las Eses	2*	Las Eses	24°59'	105°32'	2300	590.0
13 Buenos Aires	2**	Abajo de Buenos Aires	25°16'	105°52'	2150	676.9
14 Canalitas	2**	Canalitas	25°28'	106°10'	2450	786.9
Estado de Chihuahua						
15 Rosanachi	7	Mesa de Zituchi	26°52'	106°58'	2510	688.0
16 Yoquivo	7	Yoquivo	27°00'	107°32'	2060	700.0
17 Bocoyna	5	Mesa Babureachi	27°52'	107°35'	2230	814.7
18 La Junta	3	El Terrero	28°15'	107°25'	2200	600.0
19 Cd. Madera	2	El Siete	29°13'	108°09'	2200	800.0
20 El Garabato	1	Ciudad Madera	29°34'	108°09'	2200	768.0

Unidades de Administración Forestal

* Santiago Papasquiari ** Tepehuanes.

establecimiento del ensayo (diciembre 1997 a marzo 1998), se trataron de simular las condiciones naturales del sitio de origen (lluvias invernales) con riegos ligeros de auxilio a las plantas en intervalos aproximados de un mes.

Variables evaluadas en las plantas

La supervivencia se evaluó cada tres meses durante todo el periodo de estudio (desde el 19 de mayo de 1997 hasta el 31 de agosto de 1998), así como la longitud acumulada del brote terminal. Durante la primera estación de crecimiento se realizaron mediciones mensuales desde el 19 de mayo hasta el 19 de diciembre de 1997; sin embargo, a partir de enero de 1998 los registros fueron más frecuentes, para detectar la fecha de inicio de la fase de alargamiento del brote terminal, es decir, del 21 de enero al 14 de abril se hicieron cada dos semanas y del 14 de abril al 13 de mayo se aumentó la frecuencia a una semana. Después del 13 de mayo se continuaron cada dos semanas hasta el 31 de agosto del mismo año. Para fines de análisis e interpretación de los resultados, las fechas de medición se convirtieron a días julianos, a partir del 1^o de enero de cada año para obtener la curva promedio de crecimiento de cada procedencia.

En esas mismas fechas se evaluó el desarrollo fenológico del brote terminal utilizando una escala arbitraria con valores de 0 a 5, de acuerdo con las siguientes características:

- (0) yema terminal en reposo
- (1) brote terminal en crecimiento pero sin desarrollo de acículas
- (2) brote terminal en crecimiento con acículas menores de 1 cm de longitud
- (3) brote terminal en crecimiento con acículas entre 1 y 5 cm de longitud
- (4) brote terminal en crecimiento con acículas mayores de 5 cm de longitud
- (5) brote terminal en crecimiento con acículas completamente desarrolladas

Con base en la escala anterior, la fecha de inicio de la estación de crecimiento en 1998 se definió como la fecha en días julianos en que cada planta alcanzó la etapa fenológica 1 y la fecha de terminación del crecimiento para cada planta en los años de 1997 y 1998, como la fecha respectiva en que cada planta alcanzó la etapa fenológica 5. La duración de la estación de crecimiento en 1998 para cada planta se calculó con base en la diferencia en número de días julianos entre la fecha de terminación y el inicio del crecimiento. Además del seguimiento fenológico del brote, al final de cada estación de crecimiento se determinó el número de plantas por parcela que presentaron un segundo ciclo en el año, así como la longitud total.

Análisis estadístico

Para realizar el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS, Versión 5 (SAS, 1985), con el cual se llevó a cabo un análisis de varianza para todas las variables y se utilizaron los valores promedio por parcela, excepto en la variable de crecimiento del brote terminal, en que se utilizaron valores individuales. Las variables medidas en porcentaje se transformaron a la función arco-seno antes del análisis estadístico para posteriormente, convertir los datos promedio a sus unidades originales. Con los valores promedio por procedencia en cada estación de crecimiento, se elaboraron curvas para cada una de las mismas. Con los resultados del análisis de varianza se estimó la contribución de las procedencias a la varianza total observada en cada variable, a partir de la estructura de la esperanza de los cuadrados medios del modelo estadístico para cada caso (Rodríguez, 1999).

El análisis del avance fenológico del brote terminal se realizó con las frecuencias de árboles por parcela en cada etapa fenológica y en una fecha de evaluación particular, para lo cual se utilizaron los valores individuales por planta. De esa información se obtuvo el porcentaje de plantas en cada etapa fenológica del brote por procedencia, con la finalidad de establecer diferencias entre ellas. Con los valores promedio por procedencia se calculó la correlación simple entre las variables evaluadas en las plantas y las coordenadas geográficas y datos ambientales (precipitación media anual y temperatura media anual) del sitio de origen del germoplasma, para establecer el posible patrón geográfico de variación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Supervivencia

El análisis de varianza mostró una variación significativa ($p \leq 0.01$) entre las procedencias en la supervivencia promedio a lo largo de todo el periodo de estudio (Cuadro 2). Los componentes de varianza estimados en la última fecha de evaluación evidenciaron que 24% de la variación total en supervivencia de las plantas es atribuible a las procedencias. De hecho, desde la primera fecha de evaluación (mayo de 1997), algunas procedencias del Estado de Chihuahua tuvieron una mayor supervivencia (97%), mientras que las de latitudes intermedias del área muestreada presentaron los valores menores (60%).

Durante los meses de noviembre de 1997 a mayo de 1998 ocurrió una mayor mortalidad, sobre todo en las procedencias que tenían menos supervivencia en

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza y significancia de la supervivencia de las plantas en diferentes fechas de evaluación en un ensayo de procedencias de *P. engelmannii*.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios							
		1997				1998			
		mayo	agosto	noviembre	febrero	mayo	agosto		
Bloques	5	365.0	426.9	696.0	906.0	1006.4	1313.4		
Procedencias	19	435.5**	449.4**	415.3**	424.4**	518.0**	481.7**		
Error	83	126.1	133.5	134.4	159.8	196.1	178.2		

** Significativo con $p \leq 0.01$

ese momento. En este periodo es cuando se verifican las condiciones de estrés más intensas en las plantas, primero como consecuencia del descenso de temperaturas durante la época invernal y, posteriormente, por el periodo de estrés hídrico debido al aumento de las temperaturas y la nula precipitación ocurrida hasta después de mayo. A pesar de que se realizaron riegos de auxilio más o menos cada mes durante dicho periodo, el estrés provocado por los factores ambientales tuvo un efecto diferente en las plantas de algunas de las procedencias incluidas en el estudio. La falta de disponibilidad de agua en el suelo fue la principal causa de mortalidad de las plantas, ya que éstas presentaron los síntomas característicos de estrés hídrico.

Al final del estudio, a los 26 meses de establecidas en campo, las procedencias mostraron diferencias de hasta 58% en la supervivencia de las plantas, con valores promedio extremos de 35% de supervivencia en la procedencia de Los Pachones (11) y 93% en la de Santa Bárbara (04) y (Figura 1). En esa misma figura se observa que las procedencias de las latitudes extremas (al sur y al norte del área muestreada) presentaron los valores de supervivencia más altos.

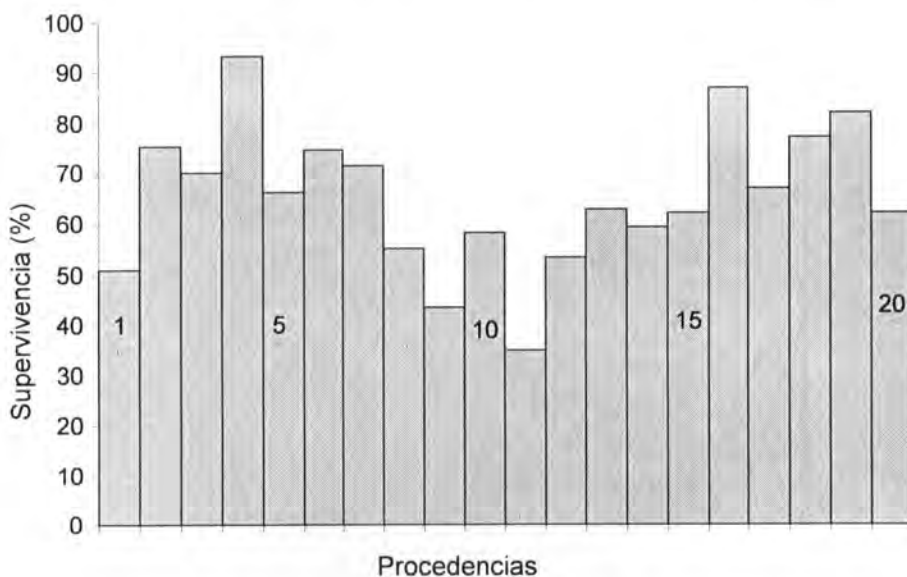


Figura 1. Supervivencia promedio de las plántulas de 20 procedencias de *Pinus engelmannii*, 26 meses después de plantadas en campo.

El análisis de correlación evidenció una asociación negativa significativa ($p \leq 0.01$) entre la supervivencia y la altitud del sitio de origen ($r = -0.52$). En la Figura 2 se observa que por cada 100 m de elevación sobre el nivel del mar aproximadamente, la supervivencia de las plantas disminuyó 3.7% en promedio, aunque no se observó un patrón bien definido debido a que existen procedencias con valores medios por encima de la media general; de igual manera, se registraron procedencias ubicadas en una misma elevación sobre el nivel del mar pero con diferencias entre ellas de hasta 25% en supervivencia.

Ruiz y Velasco (1994) también observaron diferencias entre las procedencias en la supervivencia de las plantas, pero las procedencias con valores extremos difieren en los dos estudios. Es posible que las discrepancias entre los dos estudios se deban a que en el ensayo de campo además de la sequía, estuvieron involucrados otros factores adversos como las bajas temperaturas invernales, la baja humedad relativa y las altas temperaturas en la primavera.

Scholz y Stephan (1982) en un estudio efectuado con *Abies grandis* (Dougl.) Lindl. señalan que por lo general las plantas que tienen una mayor tasa de crecimiento

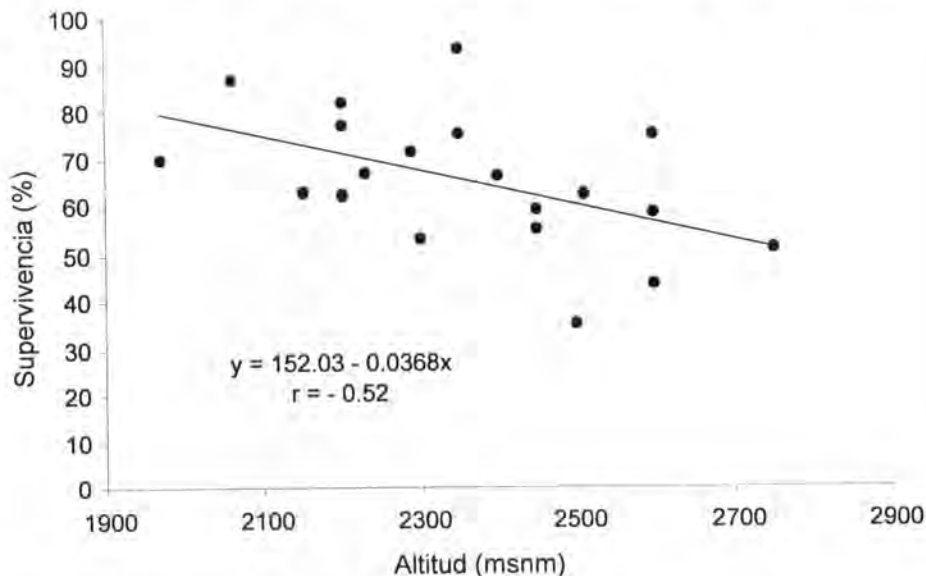


Figura 2. Relación entre la supervivencia de las plantas y la elevación del sitio de origen del germoplasma.

durante el periodo de sequía presentan una menor capacidad de supervivencia a ésta, por lo que la suspensión del crecimiento es un mecanismo para adaptarse a la sequía. Esta situación se presentó en la mayoría de las procedencias de *P. engelmannii* que se evaluaron. Las diferencias de supervivencia encontradas entre las procedencias durante su evaluación posiblemente se deben a las condiciones ambientales del sitio de origen que difieren de las del sitio de plantación. Scholz y Stephan (1982) mencionan efectos similares al encontrar una amplia variación entre regiones geográficas en la supervivencia de las plantas de *Abies grandis*. Ledig y Whitmore (1980) en *Pinus caribaea* Morelet y Das así como Stephan (1982) en *Pinus caribaea* y *P. pseudostrobus* Lindl. señalan que la mayor incidencia de mortandad en las plantas al establecerse fuera de su sitio de origen se debe principalmente a problemas de adaptación que se presentan en el primer año, por ser la etapa de desarrollo en que están más expuestas a las condiciones ambientales.

Crecimiento del brote terminal

El análisis de varianza mostró una variación significativa ($p \leq 0.05$) entre las procedencias en la longitud del brote en las dos estaciones de crecimiento evaluadas (Cuadro 3). Los componentes de varianza en el crecimiento de 1997 demuestran que el 6.8% de la variación total en la longitud del brote se debe a las procedencias; en cambio, en 1998 este valor se redujo a 3%.

Como se observa en la Figura 3a, en la estación de crecimiento de 1997 existe un periodo (del día 139 hasta el día 237) en que se presentan las mayores tasas de alargamiento del brote en todas las procedencias. Este periodo coincide con los meses de mayor precipitación en el sitio de plantación, durante el cual se acumuló 64% (358 mm) de la precipitación total anual que fue de 564 mm (Figura 4a), aunque la tasa de evaporación fue mayor que la precipitación en todos los meses del año. A diferencia de lo sucedido en 1998, cuando la mayor tasa de crecimiento del brote se concentró entre los días 90 al 189 (Figura 3b), lapso en el que ocurrió solo 18% (97 mm) de la precipitación total del año, que fue de 532 mm (Figura 4b). Después de ese periodo, la tasa de alargamiento del brote de las procedencias con mayor crecimiento disminuyó considerablemente, en tanto que las que tuvieron menor crecimiento, a partir del día 189, ya no manifestaron alargamiento del brote (08 de julio).

Lo anterior muestra que la mayoría de las procedencias presentaron el mismo patrón de alargamiento del brote terminal, ya que obtuvieron valores promedio parecidos en las dos estaciones de crecimiento (Figura 5), con un coeficiente de correlación de 0.74 entre los dos años. Durante el periodo de mayor alargamiento

Cuadro 3. Análisis de varianza de la longitud acumulada del brote terminal durante la estación de crecimiento de 1997 y 1998 en un ensayo de procedencias de *P. engelmannii*.

Fecha de evaluación	Cuadrados medios			
	Bloques (5) ^a	Procedencia (19)	B*P (83)	Error (1177) ^b
19 / 05 / 97 (139) ^c	5.76	12.27**	3.50	2.49
19 / 12 / 97 (353)	10.82	22.98**	6.76	4.90
10 / 02 / 98 (41)	1.70	0.85*	0.48	0.48
31 / 08 / 98 (244)	50.22	22.63*	11.67	11.36

^a En paréntesis se muestran los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación.

^b Los grados de libertad del error no son constantes para cada fecha de evaluación debido a la mortalidad de las plantas; el 19 de diciembre de 1997 fueron 1123, el 10 de febrero de 1998 fueron 1086 y el 31 de agosto de 1998 fueron 922.

^c El valor en paréntesis corresponde al día juliano del año.

* Significativo con $p \leq 0.05$; ** Significativo con $p \leq 0.01$

del brote terminal, la procedencia de Los Artículos (No. 08) tuvo una tasa de crecimiento de 0.27 mm/día en el primer año, aumentando ésta a 0.43 mm/día en el periodo de mayor alargamiento del brote en el segundo año. El haber obtenido diferencias en la longitud del brote al final de cada estación de crecimiento, manifiesta el grado de adaptabilidad de las plantas de cada procedencia al sitio de plantación. Lo anterior se corrobora con las procedencias que presentaron en las dos estaciones de crecimiento el valor mayor de longitud del brote terminal; en el otro extremo, también se registraron procedencias con menor adaptabilidad al sitio, lo cual se reflejó en el menor valor promedio de la longitud del brote en las dos estaciones de crecimiento.

Con la información derivada de la permanencia de la plántulas por dos años en campo, no se definió ninguna correlación significativa ($p \leq 0.05$) entre la longitud total del brote en un año y los datos de origen de las procedencias. En cambio, Ruiz y Velasco (1994) con plantas iguales a las estudiadas, determinaron una correlación positiva significativa con la latitud del sitio; es posible que en este caso se trate de un efecto asociado al tamaño de la semilla, ya que las

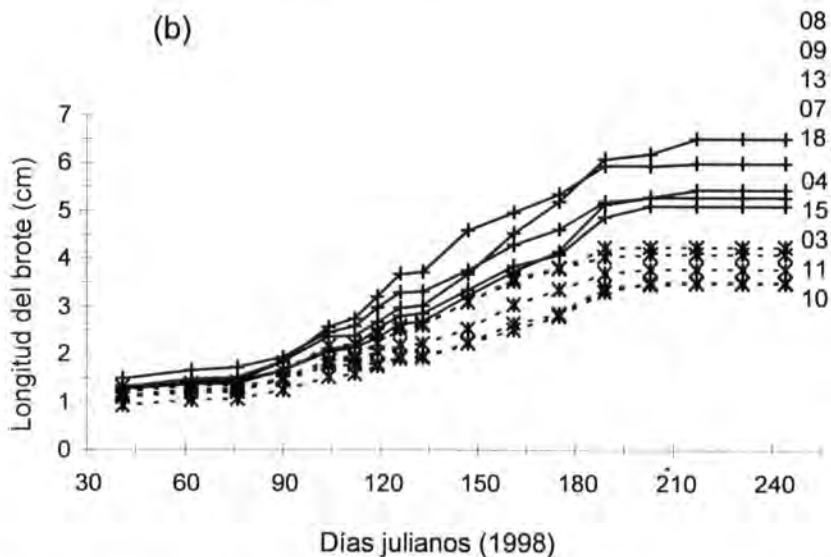
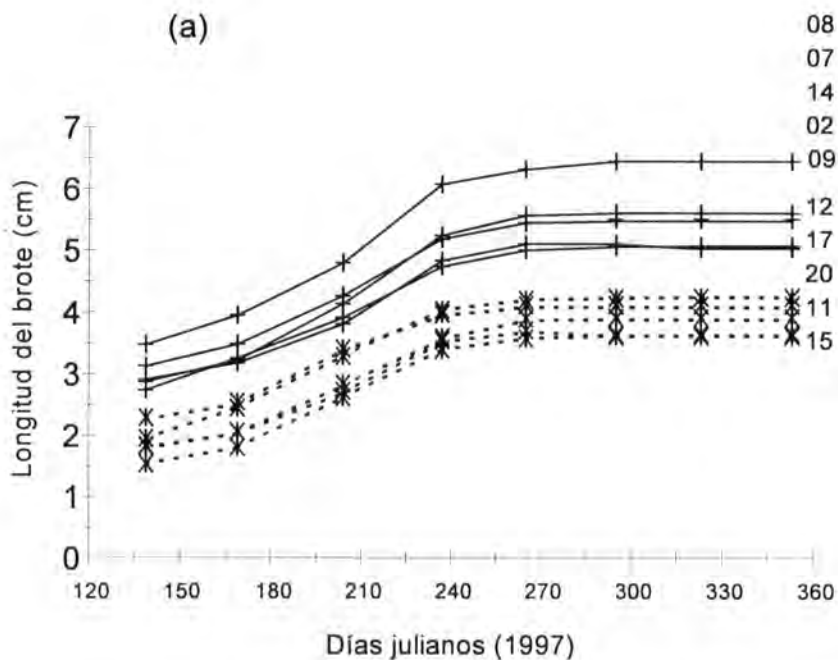


Figura 3. Curvas de crecimiento de 10 procedencias de *P. engelmannii* en el año de 1997 (a) y en 1998 (b) (las cinco con mayor y menor crecimiento respectivamente).

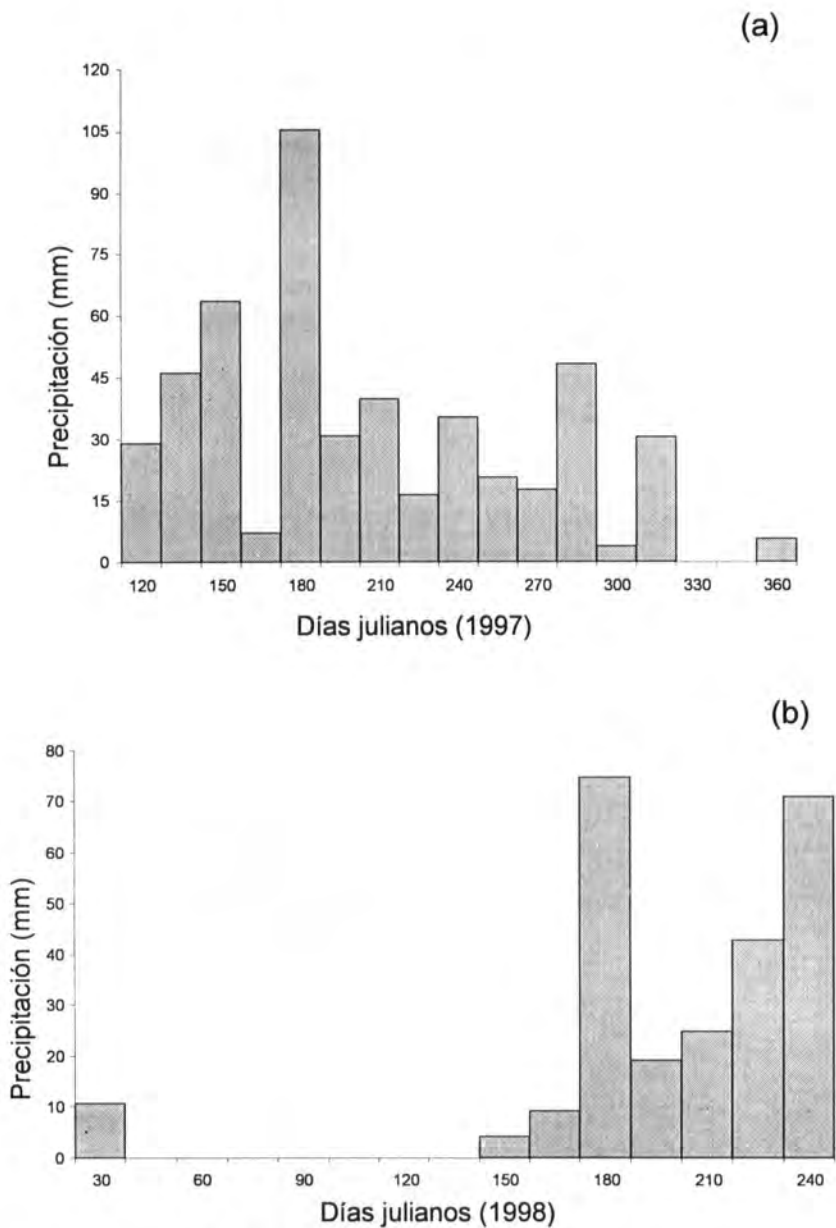


Figura 4. Distribución de la precipitación ocurrida en el año de 1997 (a) y en 1998 (b).

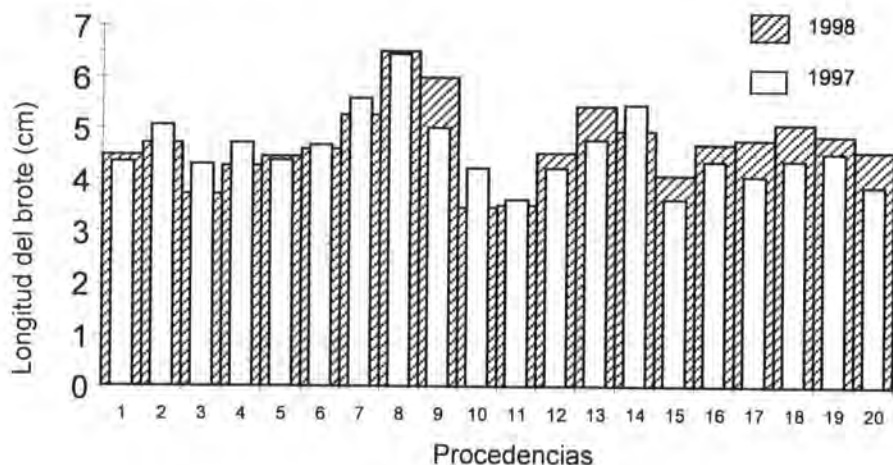


Figura 5. Comparación de la longitud del brote en las estaciones de crecimiento de 1997 y 1998 en plantas de 20 procedencias de *P. engelmannii* establecidas en Tecamac, Edo. de México.

poblaciones del norte tenían semilla de mayor tamaño y es común que esta característica influya sobre el crecimiento inicial de la planta y desaparezca posteriormente (Campbell y Ritland, 1982). En un estudio reciente que incluyó algunas poblaciones de *P. engelmannii* de Chihuahua, Arizona y Nuevo México, Rehfeldt (1999) no detectó la presencia de clines geográficos en esta especie, a pesar de existir una amplia variación entre poblaciones. Bermejo-Velázquez (1993) tampoco detectó un patrón de variación clinal en un análisis de isoenzimas efectuado en *P. engelmannii*, lo que es consistente con los resultados obtenidos. Sin embargo, en poblaciones de *P. ponderosa* P.&C. Lawson del suroeste de Estados Unidos, Rehfeldt (1992, 1993) dedujo que el crecimiento en altura se correlaciona en forma negativa con la latitud del sitio de origen de la semilla, formando un "clin" latitudinal. Este patrón geográfico es característico de especies que tienen un área de distribución natural a mayores latitudes; esto mismo ocurre en *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg. en donde el crecimiento en altura se asocia en forma negativa con la latitud del sitio de origen de la semilla, ya que las poblaciones de más al norte generalmente tienen periodos de crecimiento más cortos (Kuser y Ching, 1980).

Fenología del brote terminal

Los resultados del estudio actual mostraron diferencias notorias en el desarrollo fenológico del brote terminal entre los dos años de evaluación. En la Figura 6a se

observa que en el día 139 de 1997 la mayoría de las plantas (78%) se encontraban ya en la etapa fenológica 3, mientras que en fechas similares del año siguiente (día 133) sólo 22% de las plantas había alcanzado la etapa 3 y un 14% aún permanecían en la etapa 0, sin haber iniciado el crecimiento del brote (Figura 6b). A pesar del desfase fenológico entre las dos estaciones de crecimiento, en los dos años fue posible detectar una amplia variación entre las procedencias en la fenología del brote terminal de manera consistente, con una correlación de 0.43 ($p \leq 0.05$) entre los dos años para el porcentaje de plantas de cada procedencia en etapa 3 en esas fechas.

En el día 204 de 1997, más del 95% de las plantas estaban en la etapa fenológica 5, con las acículas del brote totalmente desarrolladas (Figura 7a), mientras que en fechas similares del segundo año sólo un 45% de las plantas habían alcanzado esta etapa (Figura 7b) y más del 40% continuaban en la etapa 4, lo que indica, el desfase entre los dos años en la fenología del brote terminal; sin embargo, en este caso no se verificó una consistencia de las procedencias en los dos años de evaluación.

Por lo anterior, el análisis de correlación con las variables del sitio de origen sólo presentó una correlación negativa relativamente baja ($r = -0.47$) entre el desarrollo fenológico del brote terminal en el día 139 del primer año de evaluación y la precipitación promedio anual del sitio de origen, pero esta correlación no fue consistente en las otras fechas de evaluación.

De acuerdo con la línea de regresión en la Figura 8, por cada aumento de 100 mm en la precipitación media anual en el sitio de origen, disminuyó en casi 3% el número de plantas en la etapa fenológica 3 del brote terminal en esa fecha de 1997. Esto implica que las procedencias de sitios más secos tendieron a iniciar primero el crecimiento del brote. En *Pseudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla* y *Pinus ponderosa* también se ha observado una tendencia a que las poblaciones de sitios más secos inicien y avancen más rápido en el crecimiento del brote, como una reacción a las diferencias que se definen con respecto al lugar de origen del germoplasma (Kuser y Ching, 1980; Campbell, 1986; Rehfeldt, 1986).

Duración del periodo de crecimiento

El análisis de varianza mostró una variación significativa ($p \leq 0.10$) entre las procedencias en las fechas de terminación del crecimiento del brote en los dos años y en la duración del periodo de crecimiento en 1998, pero no en su fecha

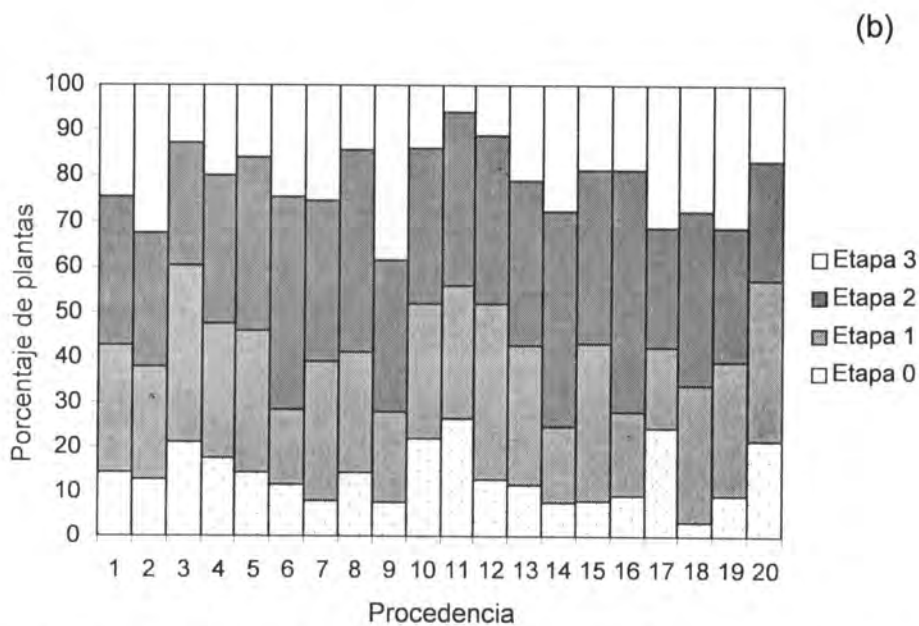
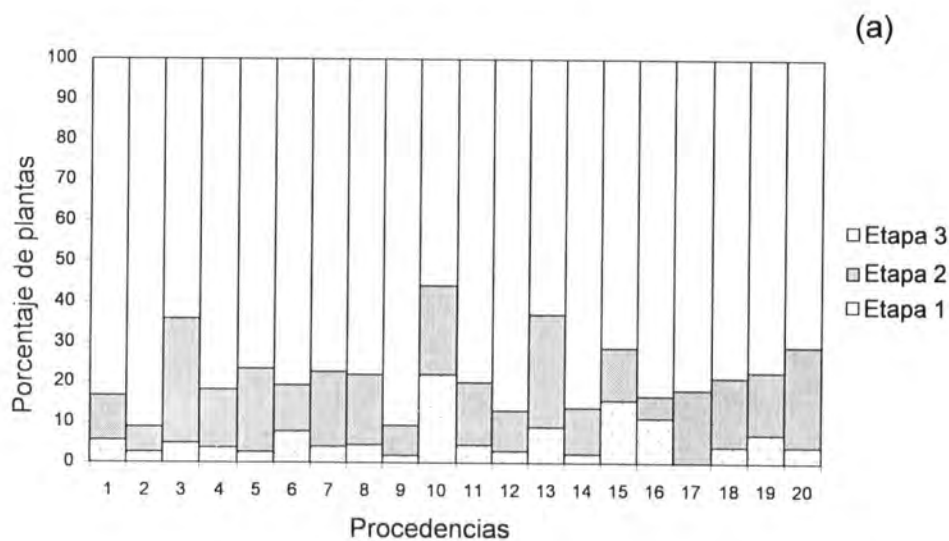


Figura 6. Estado fenológico del brote terminal de plantas de *P. engelmannii* en el día 139 del año de 1997 (a) y en el día 133 de 1998 (b).

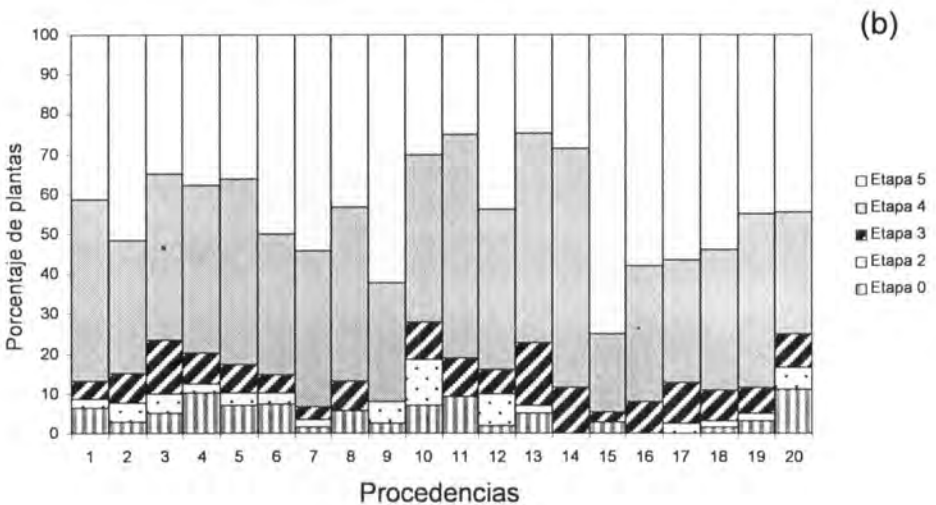
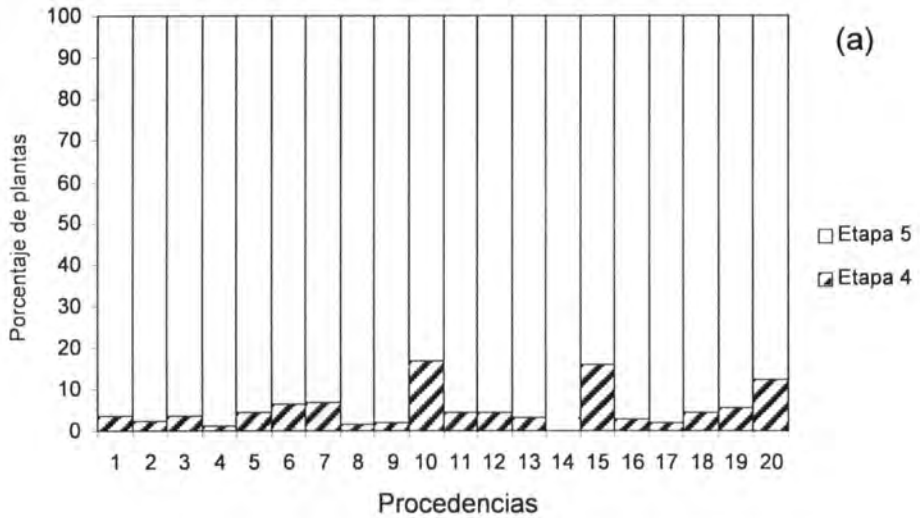


Figura 7. Estado fenológico del brote terminal de plantas de *P. engelmannii* en el día 204 del año de 1997 (a), y en el día 203 de 1998 (b).

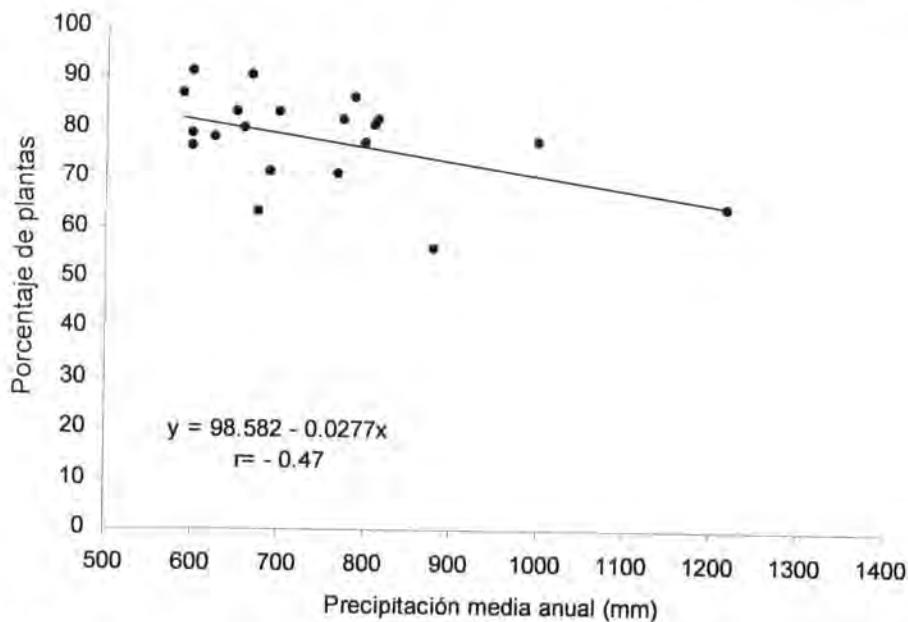


Figura 8. Relación entre el porcentaje de plantas de *P. engelmannii* con etapa fenológica 3 en el día 139 de 1997 y la precipitación media anual del sitio de origen de las procedencias.

inicio en ese año (Cuadro 4). Las procedencias aportaron más del 11% de la variación total, aunque en la duración del periodo de crecimiento y en la fecha de inicio en 1998 la contribución de las procedencias fue menor (9 y 5% respectivamente).

En el año de 1997, las mediciones tan separadas en tiempo provocaron que no se tuviera una precisión adecuada al estimar la fecha de terminación del crecimiento para cada planta. La fecha de terminación en 1997 fue el día 206, en promedio de todo el ensayo, mientras que en el segundo año ocurrió en el día 211; sin embargo, en el primero existen 5 días de diferencia en promedio entre las procedencias que terminaron más pronto y las más tardías. En cambio, en 1998 la diferencia fue de 15 días en las fechas promedio de terminación del crecimiento entre las procedencias extremas (del día 203 hasta el día 218). Los resultados anteriores muestran que la terminación del crecimiento varía ligeramente de un año a otro en función de las condiciones ambientales. La

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza y significancia del periodo de crecimiento del brote terminal en un ensayo de procedencias de *P. engelmannii*.

Variable	Cuadrados medios		
	Bloque (5) ^a	Procedencia (19)	Error (83)
Terminación del crec. (1997)	46.34	12.48***	7.45
Inicio del crecimiento (1998)	645.44	154.52	120.01
Terminación del crec. (1998)	490.09	89.13*	48.93
Longitud del periodo de crecimiento (1998)	347.46	202.30***	131.72

^a En paréntesis se muestran los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación.

* Significativo con $p \leq 0.05$;

*** Significativo con $p \leq 0.10$

procedencia de Rosanachi (No. 15) fue la más tardía en el primer año; pero el siguiente año fue la primera en terminar el crecimiento del brote. La correlación entre las fechas de terminación del crecimiento en los dos años fue de 0.03.

Por otro lado, aunque la variación en la fecha de inicio del crecimiento de la yema terminal en 1998 no fue significativa, las procedencias extremas difirieron en casi 3 semanas en el inicio del proceso. En la Figura 9 se presenta la duración del periodo de crecimiento del brote terminal en 1998 de cada procedencia. La longitud de la línea punteada en los extremos de la línea continua señala el valor de la desviación estándar (días) de la procedencia respectiva en las fechas de inicio y terminación del crecimiento del brote. Los extremos de la línea continua muestran las fechas promedio de inicio y terminación del crecimiento del brote, por lo que la longitud de la línea continua representa la duración del periodo en días. Como se puede observar, la duración promedio del periodo 1998 fue de casi cuatro meses (118 días) habiendo iniciado su crecimiento en promedio el día 94 (04 de abril) y terminado el día 212 (31 de julio). Sin embargo, existe una variación notoria en la duración promedio del periodo de crecimiento entre las procedencias, desde 107 hasta 127 días. Si se considera que el estudio se efectuó fuera del área de distribución

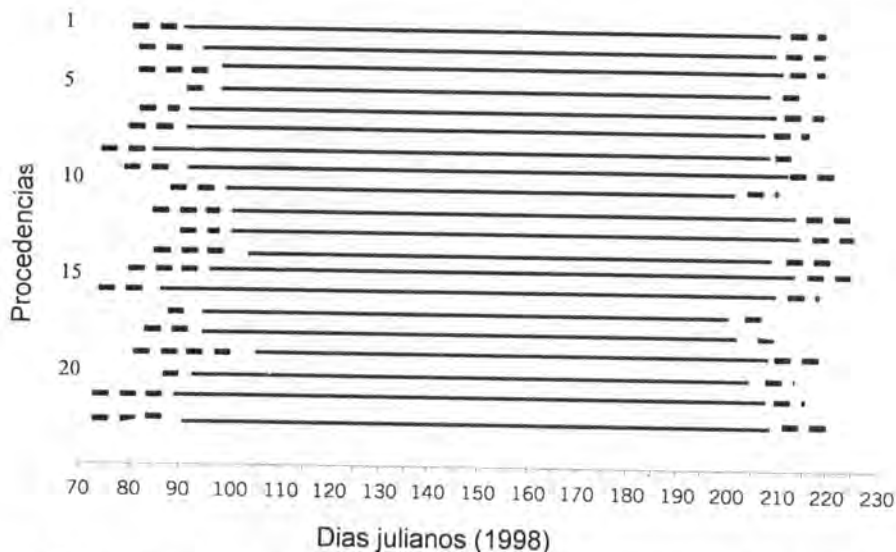


Figura 9. Inicio de brotación de la yema terminal, duración del periodo de crecimiento y terminación del crecimiento del brote terminal en el año de 1998 en un ensayo de procedencias de *P. engelmannii* establecido en Tecamac, Edo. de México.

natural de la especie, se esperaría que las plantas hayan modificado su fenología con respecto a su sitio de origen; desafortunadamente no existen datos precisos del periodo estacional de crecimiento en árboles jóvenes en dicho lugar para compararlos con los resultados obtenidos. A pesar de la variación en la duración del periodo de crecimiento, no se encontró una asociación entre esta característica y las variables ambientales del sitio de origen del germoplasma.

Segundo ciclo de crecimiento

El análisis de varianza mostró una variación estadística significativa ($p \leq 0.01$) entre las procedencias en términos de la cantidad de plantás que presentaron un segundo ciclo de crecimiento en los dos años de evaluación y en la longitud total del mismo en 1997 (Cuadro 5). Las procedencias aportaron 10 y 25% de la variación total observada en la presencia de un segundo ciclo de crecimiento en los dos años, respectivamente; en contraste, las procedencias contribuyeron con 45% de la variación total en el segundo ciclo de alargamiento en 1997, aunque ésta no fue consistente en el año siguiente.

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza sobre el número de plantas que presentaron un segundo ciclo y la longitud de este en un ensayo de procedencias de *P. engelmannii*.

Variable	Cuadrados medios		
	Bloque (5) ^a	Procedencia (19)	Error (83) ^b
Plantas con segundo ciclo en 1997	0.0031	0.0090***	0.0056
Plantas con segundo ciclo en 1998	0.2114	0.1005**	0.0357
Longitud del segundo ciclo en 1997	0.0793	0.3352**	0.1044
Longitud del segundo ciclo en 1998	0.1746	0.049	0.0893

^a En paréntesis se muestran los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación.

^b Los grados de libertad del error no son constantes en la longitud del segundo ciclo en cada año evaluado debido a que no todas las plantas presentaron esta característica (29 en 1997 y 79 en 1998).

** Significativo con $p \leq 0.01$;

*** Significativo con $p \leq 0.10$

Referente a las procedencias, la cantidad de plantas con un segundo ciclo varió desde cero hasta 19% en 1997, con un promedio global de 5.5% (Figura 10a). Al año siguiente, el promedio global aumentó a 55%, con valores extremos a nivel de procedencias de 30 y 84% (Figura 10b). A pesar de lo anterior no se presentó una consistencia entre las procedencias en la proporción de plantas con un segundo ciclo de crecimiento de un año a otro. Es difícil dar una explicación al aumento general en la proporción de plantas que presentaron un segundo ciclo de crecimiento en el segundo año, pero podría estar asociado con el hecho de que las plantas estaban en la etapa inicial de aceleración del crecimiento, después de romper el estado cespitoso.

La diferencia encontrada en la cantidad de plantas con un segundo ciclo de alargamiento podría indicar diferencias en la capacidad de adaptación entre las procedencias al sitio de plantación. Sin embargo, no se descarta que las plantas hayan sufrido un cambio en su fisiología al moverse fuera de su hábitat natural debido a que algunas de ellas no dejan de crecer cuando se aproxima el periodo invernal; lo anterior manifiesta que no han desarrollado un mecanismo para tolerar las condiciones ambientales desfavorables, provocando en ellas que el segundo ciclo no llegue a desarrollarse completamente, e inclusive, puedan ocurrir daños por heladas tempranas.

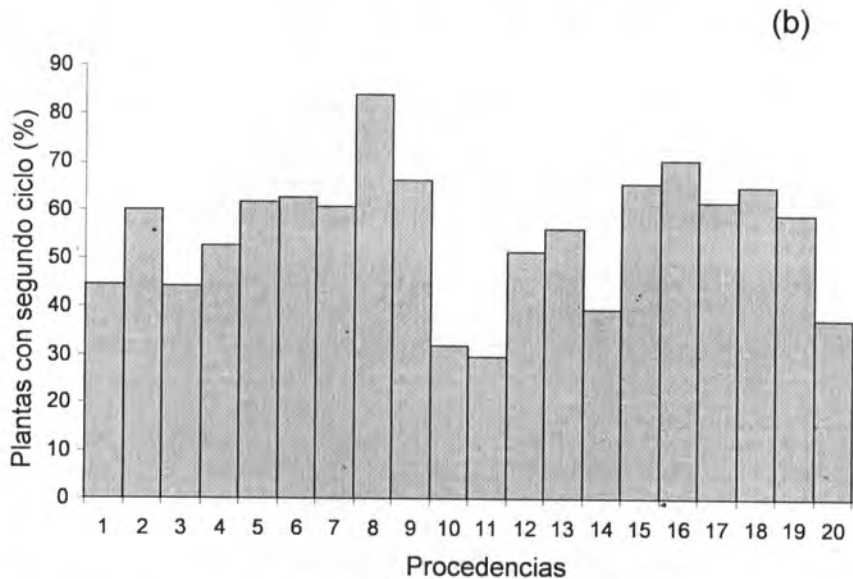
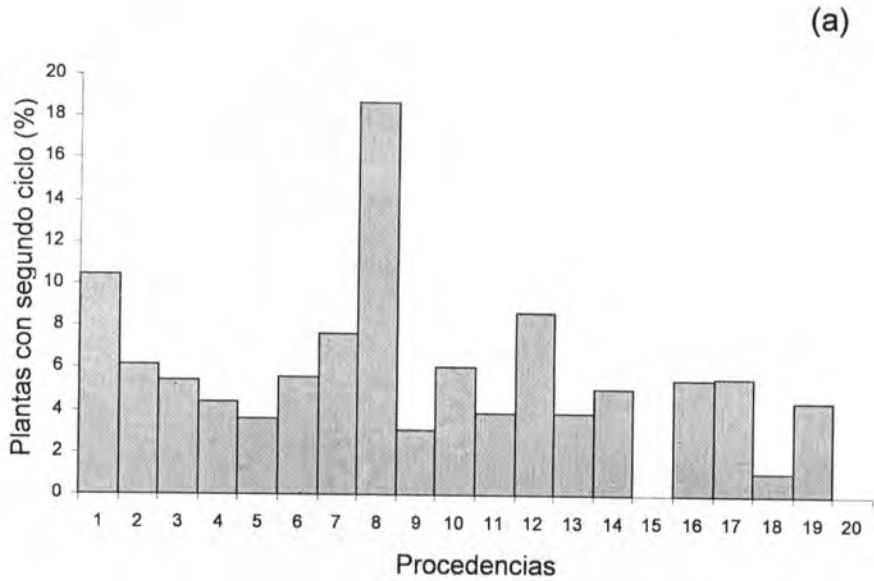


Figura 10. Porcentaje de plantas en cada procedencia de *P. engelmannii* que presentaron un segundo ciclo de crecimiento en el año de 1997 (a) y en 1998 (b).

En lo que respecta al alargamiento del segundo ciclo del brote terminal solo se encontraron diferencias en el primer año; el mayor promedio fue de 1.5 cm mientras que el menor valor fue de cero en las procedencias que no presentaron plantas con esta característica (Figura 11). Es importante señalar que dicho alargamiento no fue consistente de un año a otro, ya que la correlación entre los dos años fue de sólo 0.16.

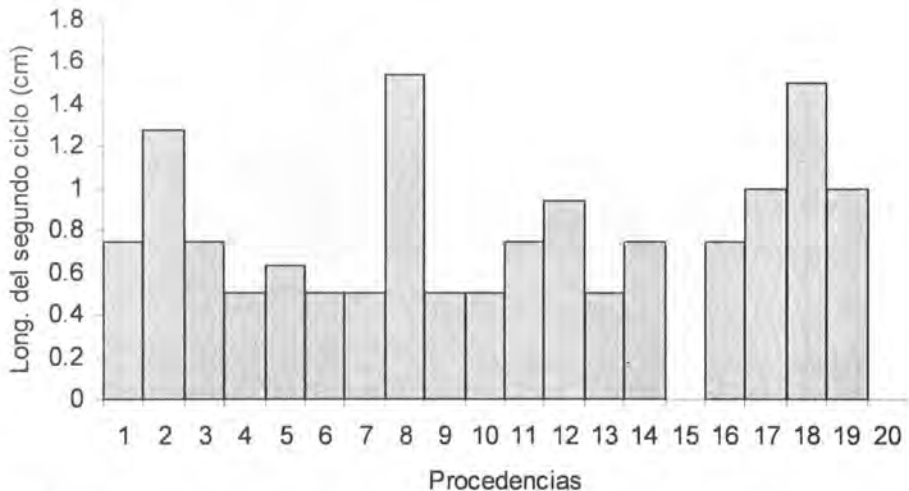


Figura 11. Longitud promedio del segundo ciclo de crecimiento en la estación de crecimiento de 1997 en plantas de diferentes procedencias de *P. engelmannii* establecidas en Tecamac, Edo. de México.

La presencia de un segundo ciclo de crecimiento en 1997 se correlacionó en forma negativa ($r = -0.47$) con la latitud y la longitud del sitio de origen de las procedencias. Igualmente, la longitud del segundo ciclo en 1998 se correlacionó en forma negativa ($r = -0.47$) con la latitud y en forma positiva ($r = 0.57$) con la precipitación; lo anterior indica que las procedencias del sur del área de distribución natural de la especie y/o con mayor precipitación promedio anual tuvieron mayores crecimientos en el segundo ciclo del brote. Sin embargo, estas correlaciones no fueron consistentes de un año a otro (Cuadro 6).

Dada la importancia adaptativa de esta característica, al influir sobre el crecimiento potencial de los individuos y sobre la posibilidad de daños al exponer el brote a condiciones ambientales desfavorables, es necesario continuar con su evaluación por un periodo de tiempo más prolongado para determinar un posible patrón geográfico con mayor claridad.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre la cantidad de plantas con un segundo ciclo de alargamiento y su longitud con los datos de origen de las procedencias.

Variable	Segundo ciclo de alargamiento del brote terminal			
	1997		1998	
	Presencia	Tamaño	Presencia	Tamaño
Latitud	-0.47*	-0.05	0.03	-0.47*
Longitud	-0.45*	-0.07	0.04	-0.35
Altitud	0.21	-0.16	-0.13	-0.07
Precipitación	-0.05	-0.27	-0.29	0.57**
Temperatura	0.19	0.28	-0.13	0.22

* Significativo con $p \leq 0.05$;**Significativo con $p \leq 0.01$

CONCLUSIONES

Se demostró la existencia de una variación significativa en la supervivencia de las plantas, y en la longitud y desarrollo fenológico del brote terminal, entre las procedencias de *Pinus engelmannii*, lo que refleja la capacidad de adaptación de las plantas al sitio de plantación. La mayor supervivencia se manifestó en las procedencias que se ubican a menor altura sobre el nivel del mar; las poblaciones de latitudes extremas del área muestreada también presentaron mejor supervivencia. A pesar de que el periodo del año cuando se concentra la mayor tasa de alargamiento del brote varió de un año a otro, su longitud media del brote en las procedencias fue consistente en los dos años evaluados; las del norte crecieron ligeramente más en el segundo año.

Se presentó un desfase en la fenología del brote terminal de un año a otro. A pesar de lo anterior, se observó una variación importante entre las procedencias en la duración total y en la fecha de terminación del periodo de crecimiento en 1998. La duración promedio del periodo de crecimiento en 1998 de todas las procedencias fue de casi cuatro meses (118 días), con una diferencia de más de 20 días entre las procedencias extremas.

Se identificó una variación significativa entre las procedencias en la cantidad de plantas con un segundo ciclo de crecimiento en los dos años de evaluación, así como en la longitud de este ciclo. El número de plantas con dicha característica aumentó notoriamente en 1998. Sin embargo, estas características no mostraron un patrón de variación geográfico consistente de un año a otro.

REFERENCIAS

- Bermejo-Velázquez, B. 1993. Genetic diversity and the mating system in *Pinus engelmannii* Carr. Ph. D. Dissertation. University of Wisconsin, WI, USA. 91 p.
- Campbell, R. K. 1986. Mapped genetic variation of Douglas-fir to guide seed transfer in southwest Oregon. *Silvae Genet.* 35: 85-96.
- Campbell, R. K. and S. M. Ritland. 1982. Regulation of seed-germination timing by moist chilling in western hemlock. *New Phytologist* 92:173-182.
- Das, B. L. and R. L. Stephan. 1982. Provenance trial with *Pinus caribaea* Morelet and *P. pseudostrobus* Lindl. in Orissa, India. *Silvae Genet.* 31: 203-212.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1988. Atlas nacional del medio físico. INEGI. Aguascalientes, México. 224 p.
- Kuser, J. E. and K. K. Ching. 1980. Provenance variation in phenology and cold hardiness of Western hemlock seedlings. *For. Sci.* 26: 463-469.
- Lavender, D. P. 1981. Environment and shoot growth of woody plants. *For. Res. Lab. Paper 45.* Oregon State University, Corvallis, OR. 47 p.
- Lavender, D. P. and W. S. Overton. 1972. Thermoperiods and soil temperatures as they affect growth and dormancy of Douglas-fir seedlings of different geographic origin. *Res. Paper 13.* Oregon State University, Corvallis, OR. 26 p.
- Ledig, F. T. and J. L. Whitmore. 1980. Heritability and genetic correlations for volume, foxtails and other characteristics of Caribbean pine in Puerto Rico. *Silvae Genet.* 30: 88-92.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª. ed. Ediciones Botas. México, D.F. 361 p.
- Nienstaedt, H. 1980. The role of provenance tests in tree improvement. *In: Proceedings of the meeting of the Canadian Tree Improvement Association. Part 2.* pp. 25.
- Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press, Inc. Portland, Oregon, USA. 231 p.
- Rehfeldt, G. E. 1986. Adaptive variations in *Pinus ponderosa* from intermountain regions. I. Snake and Salomon River Basins. *Forest Sci.* 32: 79-92.

- Rehfeldt, G. E. 1992. Early selection in *Pinus ponderosa*: Compromises between growth potential and growth rhythm in developing breeding strategies. *For. Sci.* 38: 661-677.
- Rehfeldt, G. E. 1993. Genetic variation in the *Ponderosae* of the Southwest. *Amer. J. Bot.* 80: 330-343.
- Rehfeldt, G. E. 1999. Systematics and genetic structure of *Ponderosae* taxa (Pinaceae) inhabiting the mountain islands of the Southwest. *Amer. J. Bot.* 86: 741-752.
- Rodríguez L., R. 1999. Variación en el patrón de crecimiento del brote terminal de procedencias de *Pinus engelmannii* Carr. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 84 p.
- Ruiz G., C. y E. Velasco B. 1994. Crecimiento y distribución de biomasa en plantas de *Pinus engelmannii* Carr. bajo dos niveles de humedad del suelo. Tesis Profesional. DICIFO. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 109 p.
- Statistical Analysis System. 1985. SAS user's guide: Basics, version 5. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1290 p.
- Scholz, F. and B. R. Stephan. 1982. Growth and reaction to drought of 43 *Abies grandis* provenances in a greenhouse study. *Silvae Genet.* 31: 27-35.
- Wright, J. W. 1976. Introduction to Forest Genetics. Academic Press, New York. 463 p.
- Zahner, R. 1968. Water deficits and growth of trees. *In*: Kozłowski, T. T. (Ed.). Water deficits and plant growth. Vol. II. Plant water consumption and response Academic Press. New York, NY. pp: 191-254.
- Zobel, B. J., G. Van Wik and P. Stahl. 1987. Growing exotic forests. John Wiley and Sons, New York, NY. 508 p.

NOTA TÉCNICA

LOS INCENDIOS FORESTALES CAUSADOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS EN CIÉNAGA DE ZAPATA, MATANZAS, CUBA

Nelson Medina Torres y Arnoldo Alfonso Fernández ¹

RESUMEN

Los incendios forestales destruyen la biodiversidad de los ecosistemas y entre los factores causales más importantes en Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba destacan, por orden de importancia, la negligencia, la mala intención y las descargas eléctricas. En el área, los incendios forestales ocasionados por esto último ocuparon el tercer lugar durante el periodo comprendido entre 1980 y 1994. En el presente documento se proporcionan los principales resultados de un estudio realizado en el área, que consisten en la tipificación de la situación continental, la definición de la época, periodo, mes, hora y lugar de mayor peligro, así como el índice de peligrosidad de Nostorov. Se encontró que no existe una relación directa entre el número de incendios y aquellos provocados por las descargas eléctricas; asimismo, tampoco se observó una relación significativa entre el número total anual de los días con tormentas eléctricas y la ocurrencia de los incendios. La presencia de los incendios forestales derivados de las descargas eléctricas se detectó, principalmente, de marzo a septiembre, entre las 14:00 y 20:00 horas, con una duración promedio de 19.8 horas. El índice de peligrosidad de Nostorov, ajustado para los incendios forestales por descargas eléctricas, permite contar con una herramienta confiable para alertar de la posibilidad de ocurrencia de estos siniestros a los órganos competentes encargados de las decisiones sobre el patrimonio forestal de Cuba atenuar los daños que producen estos fenómenos naturales, así como sobre la agricultura nacional.

Palabras clave: Ciénaga de Zapata, condiciones meteorológicas, Cuba, descargas eléctricas, incendios forestales, índice de peligrosidad.

Fecha de recepción: 4 de febrero de 1999.

Fecha de aceptación: 4 de noviembre de 2002.

¹ Instituto de Meteorología, Centro Meteorológico Provincial. Matanzas, Cuba
e-mail: meteoro@atenas.inf.cu

ABSTRACT

Forest fires destroy the natural biodiversity of ecosystems and among the most important factors in Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba, are: negligence, bad intention and lightning. The last one was the third cause of forest fires in the study area from 1980 to 1994. In the actual study, the most important results of a study in the aforementioned area are reported; they refer to the description of the continental situation and the time of year, period, month, hour and place of greatest danger, determined through the Nostorov index. It was found that there is not a direct relation between the number of forest fires and those due to lightning, nor a significant relationship between the annual total number of days with lightning and the occurrence of forest fires due to lightning. These fires occurred from March to September, between the 14:00 and the 20:00 hours and they lasted 19.8 hours, on the average. The danger index of Nostorov, adjusted to the forest fires due to lightning, is a reliable predicting tool for forest fires, that might be useful for decision makers in charge of the forest of Cuba in order to handle more efficiently the damage caused by such natural phenomena, as well as over agriculture at a national level.

Key words: Cienaga de Zapata, meteorological conditions, Cuba, lightning, forest fires, danger index.

En la actualidad, los incendios forestales causan la más importante destrucción de los bosques de Ciénaga de Zapata, Cuba, pues cada año, alrededor de 20 incendios devastan 3,369 hectáreas de monte, aproximadamente, generan elevados daños económicos y ecológicos.

Algunas peculiaridades del comportamiento de los incendios forestales desde el punto de vista agrometeorológico para la zona de Ciénaga de Zapata fueron citados por Medina *et al.* (1995a y 1995b). Los estudios se refieren al período de máximo peligro de los incendios de cualquier origen, que se prolonga desde la primera semana de marzo hasta la primera semana de mayo. La mayor parte de dicho lapso corresponde a la época poco lluviosa, que es la misma en la que Davidenko (1980) realizó sus estudios en Cuba, entre 1977 y 1980 e instrumentó la aplicación del método de Nostorov. Más tarde, Hernández *et al.* (1990) demostraron que los valores del índice integral de Nostorov no cumplen con las definiciones para determinados grados de combustibilidad de los bosques y generaron el valor de la suma integral corregida, dando lugar a una nueva escala de peligrosidad.

Los incendios iniciados por rayos son comunes en la región (Ávila *et al.*, 1985); sin embargo, en la época lluviosa, cuando las tormentas eléctricas son muy frecuentes (Alfonso y Florido, 1991), se incrementa su ocurrencia.

En el presente estudio se analizaron los aspectos más relevantes sobre los incendios forestales que tienen como causa las descargas eléctricas en Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba.

De manera general, las condiciones meteorológicas más frecuentes que anteceden a los incendios por descargas eléctricas en la temporada de lluvias del año, son la presencia de los anticiclones subtropicales sobre la provincia, por períodos de una semana o más, que se traduce en dos tipos básicos de circulación en niveles bajos y medios. Uno de ellos se manifiesta como la característica cuña del anticiclón oceánico, con flujo curvado anticiclónicamente, del sureste al sur, que produce un flujo de aire cálido y húmedo sobre la región, pero con fuerte movimiento descendente generalizado de las capas atmosféricas, lo que limita de manera considerable los movimientos bruscos ascendentes del aire y que con frecuencia provocan condensación. El otro produce flujos del norte y noreste en niveles bajos y medios, que en alguna medida permite el transporte de aire relativamente seco desde latitudes medias, originando una elevada insolación que puede asociarse con altas temperaturas diurnas, a pesar de no ser el aire tan caliente como en el primer tipo de circulación.

No obstante, en pocas ocasiones los incendios son anteceditos por períodos de una semana con condiciones aparentemente indiferentes a la convección, que no propician una temporada larga de poca lluvia o una disminución de la humedad relativa y un aumento de la insolación.

Por lo regular, los días de los incendios coinciden con la presencia de un mecanismo de escala sinóptica que incrementa la convección, aspecto muy lógico, porque se necesita de la presencia de tormentas locales para producir las descargas eléctricas iniciadoras del incendio.

Los patrones descritos son comunes en la época del año y son necesarios, aparentemente, pero no lo suficiente, para la aparición de este tipo de incendios. Dichos patrones favorecen el mantenimiento de condiciones de relativa sequía, pero que no bastarían por sí solos para ocasionar dichos siniestros.

En el Cuadro 1 se presenta la frecuencia de incendios por agente causal en Ciénaga de Zapata; como se puede apreciar, las descargas eléctricas constituyen el tercer factor.

El número de incendios ocasionados por descargas eléctricas es muy variable de un año a otro (Cuadro 2), debido a que hay varios factores que actúan para producir el incendio, y la descarga constituye sólo el agente desencadenante.

Cuadro 1. Causas de los incendios forestales durante el periodo 1980-1994 en Ciénaga de Zapata, Cuba.

CAUSAS	TOTAL
Negligencia	103
Intencionales	83
Descargas eléctricas	44
Desconocidas	27
Otras (combustión de la turba, efectos pirotécnicos)	24
Total	281

No existe una relación evidente entre el número total de incendios y el originado por descargas eléctricas. Cuando se comparó el total anual de días con tormentas eléctricas contra el número de incendios anuales adjudicados a este factor, tampoco se encontró una relación significativa, cuyo coeficiente de correlación fue de 0.07.

En 1980 y 1990 no se produjeron incendios por descargas eléctricas a pesar de que se registraron 140 siniestros y 149 días con tormentas eléctricas, respectivamente. En contraste, 1987 y 1993 mostraron un elevado porcentaje de incendios provocados por descargas eléctricas, lo cual coincidió con el fenómeno de El Niño, caracterizado por una disminución de las lluvias durante los meses de mayo-agosto, además de una influencia más marcada de las altas subtropicales.

Las descargas eléctricas actúan como un detonante del incendio, cuando han prevalecido condiciones de sequía. Aún en los años menos activos, el número de tormentas resulta suficiente para la ocurrencia de los siniestros. En cambio, los años con muchas tormentas no presentan las condiciones favorables de incendio.

Si se cuantifican sólo los incendios del periodo lluvioso, se observará una estrecha relación entre el número total de éstos y el originado por descargas eléctricas. Las condiciones de sequía son el agente determinante para cualquier forma de producción del incendio. El cambio súbito de una situación sinóptica con sequía a una condición favorable para las tormentas eléctricas, es una señal de peligro.

Cuadro 2. Frecuencia absoluta de incendios por descargas eléctricas y días con tormentas eléctricas en la estación meteorológica Jagüey Grande.

Años	Número de incendios por descargas eléctricas	Número de días con tormentas eléctricas
1980	0	140
1981	1	133
1982	4	130
1983	2	134
1984	2	129
1985	5	146
1986	2	150
1987	8	139
1988	2	124
1989	6	164
1990	0	149
1991	2	172
1992	4	132
1993	5	159
1994	1	164

El periodo de peligrosidad de los incendios forestales se inicia en la cuarta semana de marzo. El mayor porcentaje de siniestros corresponde a los meses de julio-agosto, que es el período del año con el mayor número de tormentas eléctricas y con la menor precipitación de la temporada de lluvias. Ambos factores se combinan para originar el máximo de incendios por descargas eléctricas.

Las mayores afectaciones tuvieron lugar del 20 de abril al 10 de mayo, debido a la mayor duración de los incendios de la vegetación. No obstante, agosto se presentó otro período con daños importantes, lo que se relaciona con la sensible disminución de las precipitaciones que se producen algunas veces en julio y la alta incidencia de tormentas eléctricas en agosto. Aún en años lluviosos, dada la

gran variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones, pueden mantenerse zonas extensas con escasas lluvias que resultan potencialmente peligrosas. Los siniestros provocados por descargas eléctricas se inician sobre todo durante el día, casi siempre entre las 14:00 y 20:00 horas, el máximo de ocurrencia se observa entre las 16:00 y 17:00 horas, cuando las tormentas eléctricas también presentan su máxima frecuencia.

Los incendios provocados por descargas eléctricas suelen presentarse aislados unos de otros, puesto que las precipitaciones que ocasionan las tormentas generadoras de las descargas eléctricas ponen fin al período de sequía relativa previa al incendio. El porcentaje de incendios que suceden 10 ó más días después del anterior, es de 56%. Los lapsos menores a 10 días se presentan en años aislados, por lo que parecen corresponder a casos en que el primer incendio es originado con una situación meteorológica, en la cual el volumen de precipitaciones que genera la tormenta no cambia sensiblemente las condiciones relativas de sequía, de modo que nuevas descargas en días sucesivos provocarán nuevos siniestros.

La duración media de los incendios forestales provocados por descargas eléctricas fue 19.8 horas; sin embargo, este valor es poco representativo, porque hay una dispersión muy grande. La mayoría de los incendios se agrupan en torno a los que se denominan "breves", que son menores a cinco horas, y los "medios", entre 20 y 30 horas, pocos persisten 70 horas o más de 98 horas en mayo de 1991. Los incendios más largos se presentaron al final de largos períodos secos, en que la vegetación ha estado bajo la influencia de aire relativamente seco, con valores de humedad relativa inferiores al 45%, durante varios días, con alta insolación y temperaturas.

Los temporadas de sequía presentan poca o nula precipitación y además una evaporación elevada, lo que crea condiciones muy favorables, no sólo para la aparición del incendio, sino también para su rápida expansión y persistencia. Lo anterior propicia una tendencia a que los incendios más largos aparezcan a fines de abril y principios de mayo, poco antes del inicio del período lluvioso.

Por otra parte, las precipitaciones intensas que acompañan a las tormentas eléctricas hacen posible que aproximadamente 41% de los incendios relacionados con las descargas eléctricas se extingan.

En los últimos 15 años los incendios forestales afectaron 50,916 ha de bosque en la Ciénaga de Zapata, donde 18.0%, o sea 9,153 ha correspondieron a incendios provocados por descargas eléctricas.

De acuerdo con la clasificación de Davidenko (1980) 52.9 % de los incendios provocados por descargas eléctricas afectan de 11 a 100 ha y, en casos extremos, a superficies aun mayores a esta última cifra.

Existe una clara relación entre las precipitaciones asociadas a las tormentas eléctricas, generadoras de los incendios, y su lugar de aparición. Los episodios con incendios de consecuencias mayores se localizaron alejados del área de máxima precipitación y aparecieron en puntos entre el NNW y el SE, en sentido contrario a las manecillas del reloj, dada la trayectoria principal de las tormentas. Las zonas de mayor riesgo para la aparición de los incendios se localizan en las regiones occidental y central de Zapata, ubicadas bajo la influencia de uno de los cinturones de mayor actividad de tormentas eléctricas del país.

Para determinar el índice integral de Nostorov, en el caso de los incendios por descargas eléctricas, se procede de la forma siguiente:

Se toman los valores diarios que a las 13:00 horas presentan las variables meteorológicas: temperatura del aire seco y del punto de rocío. Con la información antes mencionada se aplica la fórmula siguiente:

$$IPDE = h T_o (T_o - t_o)$$

donde:

- IPDE*= Índice de Peligrosidad de incendios originados por Descargas Eléctricas
- h*= Cantidad de días sin lluvia. (con menos de 10 mm de precipitación, de acuerdo con Hernández *et al.*, 1990)
- T_o*= Temperatura de aire seco a las 13:00 horas
- t_o*= Temperatura del punto de rocío a las 13:00 horas

Después de obtener el índice diario de peligrosidad y la suma integral correspondiente a los incendios por descargas eléctricas, se propuso reconsiderar los intervalos de las diferentes categorías de peligrosidad de Hernández *et al.* (1980) (Cuadro 3). Se sugirió considerar válida dicha escala en el período lluvioso y con la peligrosidad referida a los efectos de las descargas.

Los incendios provocados por descargas eléctricas se relacionan con situaciones meteorológicas persistentes que producen períodos largos poco lluviosos, baja

Cuadro 3. Índice de peligrosidad de los incendios provocados por descargas eléctricas (IPDE):

IPDE	Magnitud de la suma	Clase de peligro	Porcentaje
I	0-300	No hay peligro	0.0
II	301-500	Poco peligro	5.9
III	501-1000	Peligro	23.5
IV	1001-2500	Alto peligro	32.4
V	> 2500	Extremo peligro	38.2

humedad relativa y alta evaporación, cuyos efectos en la vegetación se traducen en condiciones muy favorables para la aparición y rápida expansión de los incendios de cualquier origen.

Los periodos largos poco lluviosos suelen concluir con uno o varios días de tormentas. Si la precipitación asociada a la tormenta es escasa o cae en una zona relativamente alejada del incendio, éste puede propagarse con rapidez y afectar áreas amplias, con una duración superior a las 20 horas. Por el contrario, si el incendio se inicia en la zona de precipitación intensa, la propia tormenta ocasionará su extinción en menos de cinco horas.

Al final de la temporada poco lluviosa, la presencia de una celda subtropical de altas presiones sobre México, o el Golfo de igual nombre, provoca que el aire seco de origen continental cubra el país y refuerce la sequía usual en esa época. Lo anterior explica porqué los incendios de este tipo son más intensos desde fines de abril hasta mediados de mayo. Dentro del período lluvioso, la cuña de altas presiones del anticiclón oceánico favorece condiciones de sequía por una semana o más, que en raras ocasiones se prolongan a un mes. En estos casos, una de las numerosas tormentas locales produce incendios, generalmente de corta duración, que afectan áreas restringidas. No obstante, bajo condiciones extremas de sequía estos incendios pueden tornarse peligrosos.

El índice de peligrosidad de Nostorov, ajustado para el caso especial de los incendios por descargas eléctricas, permite contar con un índice confiable para alertar de la posibilidad de incendios a los organismos oficiales encargados de la agricultura, con el objeto de atenuar los posibles daños que pudieran ocasionar los incendios al patrimonio forestal del Municipio Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba.

REFERENCIAS

- Alfonso A., P. y A. Florido. 1991. Las condiciones climáticas. Estudio Geográfico Integral Ciénaga de Zapata. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana, Cuba. pp. 18-35.
- Ávila, J., I. García, E. González, J. Rodríguez y A. Durán. 1985. Ecología y silvicultura. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 289 p.
- Davidenko, E. 1980. Trabajos realizados por el especialista soviético y la contrapartida cubana durante el período 77-80. INDAF. La Habana, Cuba. 179 p.
- Hernández A., J. A., J. Martínez, J. Merquiades y C. Rivero. 1990. Metodología para determinar el índice de peligrosidad de los incendios forestales. Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana, Cuba. 6 p.
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía-ACC. 1993. Comportamiento de los incendios forestales. *In*: Estudio geográfico Integral Ciénaga de Zapata. La Habana, Cuba. pp. 29-31.
- Medina Torres, N. 1995a. Pronóstico agrometeorológico de incendios forestales en la Ciénaga de Zapata. *In*: Memorias del II Simposio Internacional de Humedades '94. Editorial Academia. La Habana, Cuba. pp. 45-48.
- Medina Torres, N. 1995b. Determinación del índice de peligrosidad de incendios forestales en Ciénaga de Zapata para el período de máximo peligro. *In*: Memorias del II Simposio Internacional Humedades '94. Editorial Academia. La Habana, Cuba. pp. 85-87.