

ISSN 1405-3586

CIENCIA FORESTAL en México

CIEN. FOR. EN MEX. VOL. 23. NUM. 84. 64 p. JUL-DIC 1998



inifap
PRODUCE

PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE *Pinus rudis* ENDL EN PUEBLOS MANCOMUNADOS, IXTLAN, OAXACA.

Alfonso de la Fuente E¹, Alejandro Velázquez Martínez², Juan M. Torres Rojo³
Hugo Ramírez Maldonado³, Carlos Rodríguez Franco³, Antonio Trinidad Santos⁴

RESUMEN

El trabajo analizó información dasométrica proveniente de 129 parcelas temporales de muestreo, localizadas selectivamente en rodales puros y coetáneos de *Pinus rudis* Endl. en Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca. Se determinaron modelos de predicción del crecimiento y rendimiento, considerando los enfoques de totalidad del rodal y de distribuciones diamétricas. Las ecuaciones generadas explican del 82 al 99% de la variación total en los parámetros de interés.

Palabras clave: *Pinus rudis*, modelos de crecimiento y rendimiento, distribuciones diamétricas.

ABSTRACT

This study presents results carried out using data obtained on 129 temporary plots selected in even-aged and pure stands of *Pinus rudis* Endl. in Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca, México. Growth and yield prediction models were fitted according to whole stand and diameter class distribution models. The total variation explained by the generated models ranges from 82 to 99 percent.

Key words: *Pinus rudis*, growth and yield models, diameter class distribution.

INTRODUCCIÓN

El constante aumento de la población del país trae como consecuencia, entre otras cosas, una creciente demanda de productos maderables, conduciendo necesariamente a la aplicación de técnicas de cultivo del bosque que garanticen el manejo óptimo de los recursos forestales. Para cumplir con lo anterior, es necesario que el técnico responsable de la administración forestal, cuente con herramientas de apoyo que le permitan conducir satisfactoriamente la evolución de un rodal hacia una condición futura deseada, que a su vez cumpla los objetivos de manejo previstos. Como parte de estas herramientas, los modelos de crecimiento y rendimiento constituyen un aspecto fundamental para la planificación de las actividades de manejo del bosque.

ANTECEDENTES

Generalidades sobre modelos de crecimiento y de rendimiento forestal

El crecimiento de un árbol o de una masa forestal está representado por su desarrollo, es decir, por el aumento en sus dimensiones: altura, diámetro, área basal y volumen. Este crecimiento, en un período determinado se denomina incremento y representa un

aumento en la cantidad de tejido acumulado de floema y xilema en forma de corteza y madera respectivamente (Husch, 1963; Prodan, 1968; Klepac, 1983). El rendimiento, por otra parte, se refiere al total de madera susceptible de ser cosechada en un tiempo y en un sitio dado (Spurr, 1952). A diferencia de la producción, que representa toda la madera inventariable producida en un sitio (sea bruta o neta), el rendimiento, es la cantidad total efectiva de producto útil (Avery y Burkhart, 1983). En virtud de lo anterior, y para contribuir con los aspectos señalados, en los rodales coetáneos de *Pinus rudis* Endl. de Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca, se propuso la obtención de un sistema de predicción del crecimiento y rendimiento de los rodales, considerando para su elaboración modelos de totalidad del rodal y de distribuciones diamétricas.

Los modelos forestales son abstracciones de la dinámica de los bosques basados en relaciones funcionales entre la magnitud del crecimiento y los factores o variables que explican dicho crecimiento. Estos modelos se refieren a un sistema de ecuaciones que predicen el crecimiento y rendimiento de un rodal bajo una variedad de condiciones (Davis y Johnson, 1987), y constituyen una herramienta valiosa para la planificación de las actividades de manejo.

¹ Graduado Colegio de Postgraduados, Montecillo, México

² Profesor-investigador Titular del programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México

³ Profesor Colaborador del Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México

⁴ Profesor Titular del Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México

Generalmente, se elaboran para efectuar estimaciones confiables del crecimiento y del rendimiento futuro; generar la información necesaria que permita mantener las cosechas dentro de la capacidad sustentable del bosque; comparar alternativas de manejo que permitan analizar las mejores opciones de uso de la tierra; determinar la edad óptima de cosecha; la programación de las cortas intermedias; la estimación de la producción anual, periódica o total durante el periodo de rotación y las clases de productos; realizar análisis financieros; explorar opciones de manejo y alternativas silvícolas; examinar los impactos del manejo y de la cosecha sobre otros valores del bosque, así como para determinar un régimen que maximice el volumen maderable o el valor de la producción (Vancley, 1994).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general del área de estudio

El área de estudio Pueblos Mancomunados se localiza en la región centro-norte del estado de Oaxaca, en la parte sureste de la Sierra Juárez, cubriendo 29,431 hectáreas. Se localiza entre los 17° 05' y 17° 14' Norte y 96° 22' y 96° 31' Oeste. Presenta un relieve muy accidentado, predominando la presencia de montañas y lomeríos. La altitud de las zonas arboladas varía de 2400 a los 3300 m. La topografía del terreno varía desde pendientes muy ligeras en los valles, hasta laderas que alcanzan de 50 a 60% de pendiente, encontrándose algunas que rebasan el 100%. Además se presentan todas las exposiciones posibles. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), la zona presenta un clima templado subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, y con una precipitación invernal menor del 5%. La precipitación media anual fluctúa entre 700 y 1500 mm, corresponde para el mes más seco alrededor de 40 mm. La temperatura media anual oscila entre 12 y 18° C. Los suelos en su mayoría son de textura limosa, y negros como color dominante. La clasificación FAO/ UNESCO, le asigna el tipo cambisol cálcico, con susceptibilidad a erosión desde moderada hasta alta; generalmente se presenta erosión laminar ligera, y en menor grado laminar intensa y en forma de cárcavas. Las condiciones climáticas, topográficas y edáficas del área permiten el desarrollo de

una abundante vegetación arbórea, predominando el bosque de coníferas, principalmente de *Pinus rudis* Endl., *P. patula* Schl. et Cham., *P. pseudostrobus* Lind., *P. ayacahuite* Ehr., *P. montezumae* Lamb., *P. oaxacana* Mirov., *P. teocote* Schl. et Cham., *Abies sp.*, *Quercus sp.* y *Arbutus sp.*

Muestreo

Se consideraron 129 sitios seleccionados en rodales que reunían las características deseadas: puros y coetáneos, sanos, sin presencia de plagas o enfermedades, sin evidencia de muerte catastrófica, no intervenidos en los últimos años y de densidad normal o completa. Se cubrió todos los rangos de edad y calidades de sitio. En todos los casos se utilizaron sitios temporales de forma circular de 0.1 ha de superficie.

Toma de datos. En cada sitio se midió: 1) Altura total y de fuste limpio, en metros y centímetros, de los cinco árboles próximos dominantes y codominantes al centro del sitio, medida con clinómetro Suunto; 2) Edad de los mismos cinco árboles, a 1.30 m de altura del nivel del suelo, y tomada por el lado superior de la pendiente, la cual se determinó tomando el número de anillos de crecimiento anual de los cilindros extraídos con el taladro Pressler; 3) Longitud de los últimos 10 anillos de crecimiento anual, en centímetros con aproximación al milímetro, medidos sobre la misma viruta utilizada para determinar la edad; 4) Diámetro normal con corteza y grosor de corteza de todos los árboles localizados dentro del sitio, en centímetro con aproximación al milímetro, calculados con cinta diamétrica y medidor de corteza, respectivamente; 5) Altura total y del fuste limpio del resto del arbolado ubicado dentro del sitio, en metros con aproximación al centímetro, medida con clinómetro Suunto. La información fue analizada considerando la hectárea como unidad de superficie. Los parámetros estimados fueron: número de árboles, diámetro cuadrático promedio, diámetro medio, altura promedio de los árboles dominantes y codominantes, altura total promedio del arbolado, edad promedio a 1.30 m del nivel del suelo y volumen.

Procesamiento de la información Los datos fueron procesados mediante la aplicación de técnicas de regresión, basadas en el método de mínimos cuadrados.

Índice de sitio. Para la construcción de las curvas de índice de sitio se utilizó la metodología propuesta por Curtis (1964), la cual consiste en realizar mediciones de alturas y edades de árboles dominantes en una serie de parcelas ubicadas de modo tal que se cubra todo el rango de edad y de calidades de sitio. Posteriormente se ajusta una curva guía a la distribución resultante de la información anterior, para finalmente, a partir de la curva guía generada construir la familia de curvas anamórficas. En la elaboración de las curvas se probaron los modelos de Schumacher y Chapman-Richards, considerando 675 árboles dominantes y codominantes ubicados en 129 sitios temporales de muestreo, que cubrieron edades de los nueve hasta los 120 años. La estimación de los parámetros a estos modelos se obtuvo con el método DUD del procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS. La selección del modelo más adecuado

para describir la relación edad-altura se hizo mediante los estadísticos pseudo- R^2 , cuadrado medio del error, el valor de F, los intervalos de confianza de los estimadores, el error estándar de los estimadores y el análisis de residuales.

Predicción explícita del rendimiento. Para la predicción explícita de los rendimientos corriente y futuro, se utilizaron la forma básica del modelo de Schumacher y la propuesta de Sullivan y Clutter (1972), al considerar algunas transformaciones de las variables de predicción con el fin de lograr mejores ajustes. La estimación del volumen comercial individual se efectuó con una ecuación elaborada por De la Fuente (1992) para la especie y zona considerada, basada en el modelo de la variable combinada generalizada (Clutter *et al.*, 1983), cuya expresión tiene la estructura:

$$VC = 0.14505 + 0.0001949D^2 + 0.012068H + 0.00001228D^2H, \dots (3.1)$$

$$R^2 = 0.9283; CME = 0.0301; CV = 20.83; n = 839$$

Donde: VC: Volumen comercial del árbol en m^3 , sin considerar tocón y hasta una altura comercial correspondiente a un diámetro de fuste de 10 cm;
D: Diámetro normal en centímetros;
H: Altura total del árbol en metros;
 R^2 : Coeficiente de determinación;
CME: Cuadrado medio del error
n: Tamaño de muestra.

Se estimaron con esta ecuación los rendimientos por ha para la predicción de los rendimientos corriente y futuro del rodal. El análisis de regresión para los modelos de predicción indicados se efectuó utilizando el procedimiento REG del paquete SAS. El criterio para la selección de los mejores modelos se basó en el menor cuadrado medio de error, mayor coeficiente de determinación R^2 , menor coeficiente de variación, significancia del modelo y de las variables predictoras que lo constituyen prueba de normalidad, análisis gráfico de residuales, así como el sentido lógico de los signos de los estimadores de los parámetros.

Predicción implícita del rendimiento. Para efectuar esta predicción implícita del rendimiento corriente y futuro de los rodales en consideración, se procedió de acuerdo al enfoque distribucional sugerido por Clutter *et al.* (1983). Las distribuciones teóricas Weibull

se obtuvieron con la función de distribución acumulativa arreglada en la forma siguiente:

$$P(L < X < U) = \exp[-((L-a)/b)^c] - \exp[-((U-a)/b)^c]. (3.2)$$

Donde: P: Proporción de árboles en la categoría diamétrica;
L y U: Límites inferior y superior, respectivamente, de la categoría diamétrica; y
X: Categoría diamétrica.

La estimación de los parámetros de la función de distribución Weibull, se determinó utilizando el programa WEST (Torres, 1992), que estima los parámetros por diez métodos diferentes. Una vez que se contó con los estimadores de los parámetros por parcela, se obtuvo las ecuaciones para predecir tales estimadores en función de los atributos de cada rodal, por lo se realizó una regresión por pasos, mediante el procedimiento STEPWISE de SAS. Una vez identificadas las características del rodal que posibilitó predecir los parámetros de la distribución Weibull, se

ajustaron modelos para proyectar dichas variables en el tiempo, mediante la forma básica siguiente:

$$Y_2 = \beta_0 + \beta_1(Y_1) + \beta_2 \ln(AB_1) + \beta_3(E_1/E_2) \dots (3.3)$$

Donde: Y_2 : Valor de la variable proyectada a E_2
 Y_1 : Valor inicial de la variable a predecir,
 AB_1 : Area basal correspondiente a E_1
 E_1 : Edad inicial;
 E_2 : Edad final del período de proyección,
 \ln : Logaritmo natural;
 β_i : Parámetros a estimar

Obtenidas las ecuaciones de regresión, en todos los modelos se probó las tendencias distribucionales de los residuales y análisis de los mismos, normalidad (procedimiento UNIVARIATE de SAS) y la homogeneidad de varianzas (análisis gráfico de residuales contra predichos de la variable dependiente).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Predicción explícita del rendimiento

Los modelos obtenidos y las características del ajuste se presentan en el Cuadro 1 que

muestra las ecuaciones para la predicción de atributos a escala de rodal, mismos que proveen la información para estimar el rendimiento explícito corriente y futuro. En el Cuadro es evidente la alta significancia en la prueba F, los bajos cuadrados medios del error y los valores elevados de los coeficientes de determinación, mismos que sirvieron, junto con los errores estándar de los parámetros significancia en la prueba de "t" y el análisis de residuales, como criterios para juzgar la calidad del ajuste. Con relación a los signos de los coeficientes obtenidos, estos resultan lógicos, coincidiendo en general con los reportados en la literatura. Por lo anterior, se infiere que el ajuste de los modelos fue satisfactorio, obteniéndose un sistema de predicción explícita que estima confiablemente el rendimiento de los rodales. De acuerdo con las ecuaciones generadas, es posible predecir el rendimiento actual y futuro de un rodal en la zona y para la especie indicada con solo determinar su edad, área basal por hectárea e índice de sitio, así como la edad a la cual se desea hacer la predicción.

Cuadro 1. Resumen del análisis estadístico de los modelos ajustados para la predicción de atributos a escala de rodal de *Pinus rudis* Endl. de Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca.

MODELO ECUACIÓN OBTENIDA	P-R ²	CME	F-CALC	n
(4.1) $HT = S e^{[24.2030(1/E_1)]}$ EE de "24.2030" = 0.05	0.9997	0.117	459839.14	675
(4.2) $S = HT e^{[-24.2030(1/E_1)]}$ EE de "24.2030" = 0.05	0.9997	0.117	459839.14	675
(4.3) $\ln(V) = 2.7819 + 1.0641 \ln(S) - 1.0883(1/E_1) + 0.0201 \ln(AB_1)$ EE de "2.7819" = 0.2448 Significancia = 0.0001 EE de "1.0641" = 0.0414 Significancia = 0.0001 EE de "1.0883" = 0.0420 Significancia = 0.0001 EE de "0.0201" = 0.6163 Significancia = 0.0322	0.9388	0.005	917.34	129
(4.4) $\ln(V_2) = 7.7870 + 1.07 \ln(I_S) - 1.096(1/E_2) + 0.085(1 - E_1/E_2) + 0.0145 \ln(AB_1)$ EE de "7.7870" = 0.2457 Significancia = 0.0001 EE de "1.07" = 0.0431 Significancia = 0.0001 EE de "1.096" = 0.6169 Significancia = 0.0001 EE de "0.085" = 0.0147 Significancia = 0.1758 EE de "0.0145" = 0.0077 Significancia = 0.0385	0.9346	0.008	975.31	129

Donde: HT: Altura promedio total de los árboles dominantes y codominantes (m), S: Índice de sitio (m),
 E_b : Edad base (50 años), E_1 : Edad actual (años), V: Volumen comercial actual (m^3/ha)
 V_2 : Volumen comercial futuro (m^3/ha), AB_1 : Área basal actual correspondiente a E_1
 E_2 : Edad de proyección (años), P-R²: Coeficiente o pseudo coeficiente de determinación.
 CME: Cuadrado medio de error, F-CALC: Valor de F, n: Tamaño de muestra, EE: Error estándar del estimador cuya estimada aparece entre comillas, Significancia: Probabilidad de un valor de F mas grande que el calculado.

Predicción implícita del rendimiento

El sistema de ecuaciones de regresión que predice el rendimiento con base en distribuciones diamétricas se presenta en el Cuadro 2, observando una alta significancia de los modelos, valores de los coeficientes de determinación altos, cuadrados medios de error bajos y coeficientes de variación y

errores estándar de los parámetros aceptables. Asimismo, los niveles de significancia para la prueba "t" evidencian que todas las variables involucradas contribuyen a la predicción señalada, indicando así un ajuste adecuado de los modelos, por lo que resulta significativo la contribución a estimar de manera satisfactoria los valores de las

variables. Los criterios considerados para juzgar la calidad del ajuste fueron los mismos que en el caso de la predicción explícita. Así mismo, la proyección del número de árboles por hectárea (N_2) se efectuó considerando la estimación del área basal futura por ha (AB_2) y el diámetro cuadrático promedio futuro del

rodal (DQ_2), correspondientes a la edad de proyección de interés, es decir:

$$N_2 = [AB_2/0.7854(DQ_2/100)^2] \cdot (4.12)$$

Donde: DQ_2 y AB_2 son estimados con las ecuaciones (4.9) y (4.10), respectivamente

Cuadro 2. Resumen del análisis estadístico de los modelos ajustados para la predicción implícita del rendimiento de *Pinus rudis* Endl. de Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca

MODELO ECUACIÓN OBTENIDA	R ²	CME	F-CALC	CV(%)	n
(4.5) $a = -10.099 - 0.959b + 0.881(DM) + 4.496(DQ)$ EE de '10.099' = 3.3849 Significancia = 0.0037 EE de '0.959' = 0.0050 Significancia = 0.0001 EE de '0.881' = 0.0263 Significancia = 0.0001 EE de '4.496' = 1.1976 Significancia = 0.0003	0.9983	0.4383	16429.47	4.61	90
(4.6) $b = 0.280 + 6.989 \ln(DM) + 10712(1/N) + 0.012(DQ^2) - 1.418[(DM \cdot DQ)/AB]$ EE de '0.280' = 0.0281 Significancia = 0.0001 EE de '6.989' = 0.8785 Significancia = 0.0001 EE de '10712' = 526.85 Significancia = 0.0202 EE de '0.012' = 0.0032 Significancia = 0.0003 EE de '1.418' = 0.3928 Significancia = 0.0005	0.8776	17.3599	157.10	28.91	90
(4.7) $c = -1.823 + 0.123b + 0.001(N) + 0.103[(DM \cdot DQ)/N]$ EE de '1.823' = 0.4004 Significancia = 0.0447 EE de '0.123' = 0.0073 Significancia = 0.0001 EE de '0.001' = 0.0003 Significancia = 0.0004 EE de '0.103' = 0.0152 Significancia = 0.0001	0.8409	0.9171	151.55	22.12	90
(4.8) $DM_2 = 1.171 + 0.921(DM_1) + 1.053 \ln(AB_1) + 6.520(E_1/E_2)$ EE de '1.171' = 0.5831 Significancia = 0.0501 EE de '0.921' = 0.1101 Significancia = 0.0001 EE de '1.053' = 0.1934 Significancia = 0.0306 EE de '6.520' = 1.2466 Significancia = 0.0001	0.9941	1.0983	11200.61	2.66	129
(4.9) $DQ_2 = 0.161 + 0.983(DQ_1) + 0.988 \ln(AB_1) + 7.518(E_1/E_2)$ EE de '0.161' = 0.0221 Significancia = 0.0441 EE de '0.983' = 0.1030 Significancia = 0.0001 EE de '0.988' = 0.1121 Significancia = 0.8635 EE de '7.518' = 1.8636 Significancia = 0.0003	0.9939	1.1163	10919.17	2.61	129
(4.10) $\ln(AB_2) = 1.311 + 0.878(1 - E_1/E_2) + 0.692 \ln(AB_1)$ EE de '1.311' = 0.0719 Significancia = 0.0001 EE de '0.878' = 0.0125 Significancia = 0.0001 EE de '0.692' = 0.0216 Significancia = 0.0001	0.8833	0.0081	239.62	2.08	129
(4.11) $H = 5.680 + 0.536(S) + 489.104(1/N) + 0.015(E) - 96.255(1/CD)$ EE de '5.680' = 0.3389 Significancia = 0.0001 EE de '0.536' = 0.0109 Significancia = 0.0001 EE de '489.104' = 22.562 Significancia = 0.0001 EE de '0.015' = 0.0030 Significancia = 0.0001 EE de '96.255' = 3.6344 Significancia = 0.0001	0.8252	2.0862	1317.53	9.50	129

Donde: a, b y c: Parámetros de posición, escala y forma, respectivamente, de la función Weibull; DM_2 y DQ_2 : Diámetros medio y cuadrático futuros del rodal; AB_2 : Área basal por hectárea futura; H: Altura promedio del arbolado por categoría diamétrica; N: Número de árboles por hectárea; las demás variables como se definieron previamente; EE: Error estándar del estimador cuya estimada aparece entre comillas; Significancia: Probabilidad de un valor de F más grande que el calculado

La Figura 1 indica la secuencia para la predicción explícita e implícita, así como corriente y futura del rendimiento de los rodales coetáneos de *Pinus rudis* Endl. de Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca. Con esta secuencia es posible preparar tablas de rendimiento maderable para la especie indicada, muestreando el comportamiento estimado de dicha variable por categoría diamétrica, así como el total por hectárea. La corrección de las estimaciones volumétricas

implícitas, con la finalidad de hacerlas compatibles con las predicciones explícitas, se efectuó considerando el siguiente factor de ajuste:

$$\text{FACTOR DE AJUSTE} = VE/VI$$

Donde: VE es la predicción del volumen total por hectárea obtenida explícitamente y VI el correspondiente valor para la predicción implícita.



Figura 1. Secuencia para la estimación del rendimiento de rodales coetáneos de *Pinus rudis* Endl. de Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca.

CONCLUSIONES

El sistema de ecuaciones generado es una herramienta confiable para el manejo de los rodales coetáneos de *Pinus rudis* Endl. en Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oax. La combinación de estas ecuaciones, permitirá contar con elementos importantes para la toma de decisiones relacionada con la planificación de la producción forestal a corto y largo plazos. Los modelos de predicción del rendimiento representan tan solo una aproximación de la dinámica de crecimiento del bosque bajo estudio. A través de estos aceptablemente se escribe el comportamiento del rendimiento de los rodales considerados, llegando a explicar del 82 al 99% de la variación total.

REFERENCIAS

- Acosta M., M. 1995. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. en el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría. División de Ciencias forestales. UACH. Chapingo, Méx.
- Avery, T. E. y E.H. BURKHART. 1983. Forest measurements. Third edition. Mac Graw-Hill, New York. 331.
- Clutter, J.L., J.C. Forston, L.V. Pienaar, G.H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber Management: a quantitative approach. Wiley, New York.
- Curtis, R.O. 1964. A stem-analysis approach to site-index curves. *Forest Science* 10(2):241-251.
- Davis, S.L. y K.N. Johnson. 1987. Forest Management. Third edition. McGraw-Hill. New York.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM.
- Husch, B. 1963. Forest Mensuration and Statistics. Ronald Press, New York.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Méx.
- Prodan, M. 1968. Forest Biometrics. Pergamon Press. London.
- Spurr, S. H. 1952. Forest Inventory. Ronald Press, New York.
- Sullivan, A.D. and J.L. Clutter. 1972. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. *Forest Science* 18:76-86.
- Torres R. J.M.; O.S. Magaña; M. Acosta M. 1992. Guía de uso de WEST: programa para estimar parámetros de la función de distribución de probabilidades Weibull. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.
- Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield applications to mixed tropical forest. CAB International, Denmark.

ÍNDICE DE SITIO PARA CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) EN QUINTANA ROO, MÉXICO

Xavier García Cuevas¹, Hugo Ramírez Maldonado², Carlos Rodríguez Franco³
Jesús Jasso Mata⁴, Carlos A. Ortiz Solorio⁵

RESUMEN

La investigación se realizó en Quintana Roo, México con el objeto de ajustar los modelos de Schumacher, Chapman-Richards y Weibull a través del Método de la Curva Guía para desarrollar ecuaciones anamórficas y polimórficas de índice de sitio para plantaciones puras de caoba (*Swietenia macrophylla* King). Los resultados indicaron que el modelo con mejor bondad de ajuste con base en los estadísticos, Cuadrado Medio del Error (CME), Pseudo R² (R²), y análisis de residuales y que representa más fielmente el diagrama de dispersión de datos observados, es el de Chapman-Richards en su versión anamórfica.

Palabras clave: *Swietenia macrophylla* King, índice de sitio, modelos de: Schumacher, Chapman-Richards y Weibull.

ABSTRACT

This study was carried out at Quintana Roo State, Mexico. The aim of this study was to apply the Schumacher, Chapman-Richards and Weibull models and the Curve Guide Method to develop anamorphic and polymorphic site index equations for pure plantations of mahogany (*Swietenia macrophylla* King). Results indicate that the model of best fitness based on the Square Means Error (SME), Pseudo R² (R²), residual analysis, and that provides the most accurate diagram of dispersion and observed data, is the Chapman-Richards anamorphic version.

Key words: *Swietenia macrophylla* King, site index, Schumacher, Chapman-Richards and Weibull models.

INTRODUCCIÓN

A pesar de la importancia que la caoba representa para la economía de los trópicos, sobre todo en Quintana Roo, se carece de información cuantitativa sobre el crecimiento, incremento, desarrollo y rendimiento de la especie, tanto en masas naturales como en plantaciones. Sin embargo, para el manejo de este recurso, es básico la clasificación de la capacidad productiva de los suelos forestales para la especie en la zona. Para ello, el método más empleado es determinar el índice de sitio, debido a su fácil aplicación y utilidad práctica en la evaluación de la productividad de sitios, imprescindible para programas eficientes, especialmente ante el auge de las plantaciones forestales comerciales en México. Una de las técnicas más utilizadas al carecer de análisis troncales o de sitios permanentes de investigación es el ajuste de ecuaciones

que estimen la relación funcional "altura dominante – edad" mediante el método de la curva guía, con lo que estamos en posibilidad de construir familias de curvas de índice de sitio en sus versiones anamórficas o polimórficas, con el fin de calificar la productividad de los sitios.

ANTECEDENTES

Calidad de sitio

La calidad de sitio o de estación se define como la capacidad o las características que determinan en forma un tanto relativa, el grado de productividad de un lugar, bajo las condiciones que interactúan en su medio, al considerar que tal productividad es resultante de la suma de todos los efectos de los factores del sitio (Spurr y Barnes, 1980; Zepeda y Rivero, 1984), como los edáficos, climáticos, bióticos y genéticos. La calidad o productividad de un sitio puede ser

¹ Investigador Titular, Campo Experimental "San Felipe Bacalar", Quintana Roo, México. INIFAP - SAGAR, correo-e: sfb@cirse.inifap.conacyt.mx

² Profesor – Investigador, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México.

³ Director General Forestal, INIFAP – SAGAR

⁴ Profesor – Investigador, Director del Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, Huimanguillo, Tabasco, México

⁵ Profesor – Investigador, Programa de Edafología, IRENAT - Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México

considerada en términos de la producción potencial maderable para una especie o tipo de bosque específico. Esta productividad es relativa de acuerdo a la especie considerada, de manera que un área representa un alto potencial productivo para una especie y un bajo potencial para otra (Clutter *et al.*, 1982).

Índice de sitio

Los métodos de evaluación de la calidad de sitio, al igual que las técnicas para su determinación han evolucionado hasta tener en la actualidad varios sistemas de clasificación de utilidad de acuerdo a sus objetivos (Pritchett y Fisher, 1987). El índice de sitio es uno de los métodos más empleados para determinar la productividad de los sitios en masas coetáneas preferentemente puras, con base en relaciones de altura dominante-edad, definiéndose como la altura dominante alcanzada por un rodal coetáneo a una edad de referencia o edad base determinada (Zepeda y Rivero, 1984). La altura de un rodal uniforme, a una edad determinada, es un buen indicador del potencial productivo de ese tipo de bosque en el sitio particular, pero se considera que la altura promedio de un rodal es afectada por la edad y calidad de sitio, así como por la densidad del rodal, por ello, se usa normalmente la altura dominante de un rodal coetáneo a una determinada edad, ya que es el mejor indicador del potencial productivo de ese tipo de bosque en un sitio en particular, puesto que es una variable que se considera no afectada por la densidad (Alder, 1980). La altura dominante deja de ser un buen indicador de la calidad de sitio en rodales jóvenes de especies de muy rápido crecimiento, como en los trópicos, o de ciertas especies de gran variabilidad en sus patrones de crecimiento. Lo anterior se detecta al ordenar los datos de parcelas en alturas por clases de edad. Si la agrupación de las parcelas por clases de edad muestran un comportamiento lógico, se tiene un indicador de que la altura dominante en un buen indicador de la calidad de sitio (Alder, 1980).

Funciones de crecimiento para determinar índice de sitio

Las funciones más utilizadas para estimar crecimiento y rendimiento han sido los modelos de Schumacher, Chapman - Richards y Weibull, principalmente al modelar

altura dominante y construir curvas de índice de sitio (Ramírez, 1981).

Tipos de curvas de índice de sitio

Dentro de la determinación de índice de sitio se reconocen dos variantes, según sea la naturaleza de las familias de curvas de altura - edad generadas: a) curvas anamórficas y b) curvas polimórficas. Estas últimas se dividen en articuladas y no articuladas (Clutter *et al.*, 1983; Zepeda y Rivero, 1984). Una familia de curvas, consiste en la construcción de un sistema de curvas de crecimiento en altura, que representan dicho comportamiento para diferentes calidades de estación y durante la vida del rodal (Stage, 1963).

Curvas anamórficas. Las curvas anamórficas se caracterizan por presentar la misma forma, ya que son proporcionales, la pendiente de la altura de las curvas a cualquier edad guarda una relación constante entre ellas (Clutter *et al.*, 1980) y tienen un punto de inflexión a la misma edad para todas ellas. Es decir, las curvas de índice de sitio son anamórficas si hay una tasa relativa de crecimiento constante para todos los índices de sitio a una edad específica y el punto de inflexión es en la misma edad para todas ellas (Zepeda y Rivero, 1984). Cuando estas curvas se representan en escala logarítmica, son rectas paralelas, con igual pendiente pero con diferente ordenada al origen.

Curvas polimórficas. Estas curvas son familias de curvas con pendiente variable que generalmente no guardan una relación de paralelismo entre ellas y no son proporcionales por no depender unas de otras; por esto sus puntos de inflexión ocurren a edades diferentes. En ellas se observa que el crecimiento en altura culmina más pronto en sitios de buena calidad (Clutter *et al.*, 1980; Zepeda y Rivero, 1984; Acosta, 1991). Por lo anterior, la tasa relativa de crecimiento no es constante para todos los índices de sitio, lo que significa que esa tasa es variable para cada edad. Las curvas polimórficas al no ser proporcionales unas a otras indican que existen distintos hábitos de crecimiento para las diferentes clases de índice de sitio (Clutter *et al.*, 1983).

Las curvas polimórficas pueden ser articuladas o no articuladas. Las articuladas guardan una determinada relación, aunque

no proporcional y éstas no llegan a cruzarse en el espacio de los rangos de edades de interés analizadas; mientras que las no articuladas carecen de relación entre ellas y es posible que se crucen dentro del rango de interés (Clutter *et al.*, 1983).

Métodos para construir familias de curvas de índice de sitio

Existen diversos métodos generales para construir curvas de índice de sitio, mismas que utilizan información proveniente de parcelas temporales, parcelas permanentes y análisis troncales (Clutter *et al.*, 1983). La construcción de curvas se realiza por métodos gráficos o analíticos, ambos procedimientos se emplean tanto para curvas anamórficas como polimórficas (Curtis, 1964; Alder, 1980; Clutter *et al.*, 1984). Como el índice de sitio es una representación gráfica que describe la relación altura dominante - edad de un rodal, para modelar dicha relación, existen diferentes modelos y técnicas de ajuste de los mismos. La mayoría de las técnicas se encuadran en los métodos: a) de la curva guía, b) de la diferencia algebraica, c) de la predicción de parámetros (Clutter *et al.*, 1984) y d) de ecuaciones diferenciales (Devan y Burkhart, 1982).

Método de la curva guía

El método genera curvas de índice de sitio de tipo anamórficas o polimórficas. La técnica consiste en ajustar un modelo para obtener una curva promedio o curva guía en todo el rango de observaciones altura dominante - edad, a partir de la cual se trazan curvas proporcionales arriba y abajo de la curva guía, al representar diferentes índices de sitio. Los datos de altura dominante - edad son obtenidos de una variedad de rodales de diferentes edades y calidades de estación (Clutter *et al.*, 1984).

Curvas anamórficas con método de curva guía.

Las familias de curvas anamórficas o polimórficas se construyen despejando los parámetros de valor asintótico o de forma de los modelos, ya que éstos determinan el tipo de familias de curvas. Para las curvas anamórficas, de la ecuación de índice de sitio se despeja el parámetro asintótico y su expresión se sustituye en la ecuación original, con lo que el valor asintótico se considera implícito, y el o los parámetros de forma, son comunes para todos los sitios. Variando la edad y el índice de sitio deseado

y manteniendo constante la edad base, se genera la familia de curvas anamórficas. Lo anterior se resume en los siguientes pasos y las ecuaciones se presentan en el Cuadro 1 donde:

- Las ecuaciones de crecimiento en su forma integral se ajustan a la base de datos para generar la curva guía.
- Cuando la edad (E) se iguala a la edad base (E_0), entonces la altura dominante (H) será igual al índice de sitio (IS).
- Como β_1 es un parámetro dependiente del sitio y el IS es igual a la altura dominante a la edad base, para graficar la familia de curvas, se despeja β_1 de la ecuación y su expresión se sustituye en las ecuaciones integrales, obteniendo la expresión para generar las familias de curvas anamórficas, sustituyendo las etiquetas del índice de sitio deseado, mismas que deben estar acordes con la dispersión de datos observados.
- Para calificar la calidad de sitio de un rodal determinado, conocida la edad y la altura dominante, se despeja IS de las ecuaciones que generan las familias de curvas, con la que se obtiene las expresiones con las que es posible calificar el índice de sitio para un rodal específico.

Curvas polimórficas con método de curva guía.

A diferencia de las curvas anamórficas, donde para generar las familias de curvas se considera implícita la asíntota, en este caso, como los β 's de los exponentes son parámetros dependientes del sitio y representan la velocidad de crecimiento y el IS es igual a la altura a la edad base, para graficar la familia de curvas polimórficas de las ecuaciones anteriores, se despeja alguno de los β 's de los exponentes y se obtienen las ecuaciones que adoptan las expresiones que se observan en el Cuadro 1, las cuales sirven para generar las familias de curvas polimórficas y calificar el índice de sitio para plantaciones específicas, en este caso, se considera que el valor asintótico es constante para todos los sitios y lo que varía es la velocidad de crecimiento. Los pasos para su construcción se presentan a continuación:

- Las ecuaciones de crecimiento en su forma integral se ajustan a la base de datos para generar la curva guía.

- a) Las ecuaciones de crecimiento en su forma integral se ajustan a la base de datos para generar la curva guía.
- b) Cuando la edad (E) coincide con la edad base (E_0), entonces la altura dominante (H) será igual al índice de sitio (IS).
- c) De la ecuación de IS se despeja β_2 para las ecuaciones de Schumacher y Weibull y β_3 para Chapman - Richards y se sustituyen en las ecuaciones integrales, con lo que se obtienen las ecuaciones que generan las familias de curvas polimórficas mediante el método de la curva guía.
- d) Despejando el índice de sitio de la ecuación mencionada, se obtiene la expresión con la cual se califica el índice de sitio para un rodal creciendo en un lugar específico.

Para ejemplificar lo anterior, se trabajó con información de plantaciones de caoba establecidas en el área de influencia del Campo Experimental "San Felipe Bacalar", Quintana Roo, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) con el objetivo de elaborar ecuaciones de índice de sitio mediante el método de la curva guía con modelos de Schumacher, Chapman - Richards y Weibull en sus versiones anamórficas y polimórficas para plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King). La hipótesis planteada fue que mediante el método de la curva guía y los modelos de Schumacher, Chapman - Richards y Weibull, es posible construir curvas anamórficas y polimórficas de índice de sitio para plantaciones forestales de caoba (*Swietenia macrophylla* King).

(Sus expresiones en el Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones de crecimiento en altura dominante, índice de sitio, familias de curvas y calificación de índice de sitio

MODELO	ECUACIÓN INTEGRAL	IS	FAMILIA DE CURVAS	CALIFICACIÓN DE IS
Schumacher (anamórfica)	$H = \beta_1 e^{-\beta_2 E^{-1}}$	$IS = \beta_1 e^{-\beta_2 E_0^{-1}}$	$H = IS e^{-\beta_2 E_0^{-1} - E^{-1}}$	$IS = H e^{\beta_2 E_0^{-1} - E^{-1}}$
Chapman Richards (anamórfica)	$H = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E} \right]^{\beta_3}$	$IS = \beta_1 \left[1 - e^{(-\beta_2 E_0)} \right]^{\beta_3}$	$H = IS \left[\frac{1 - e^{-\beta_2 E_0}}{1 - e^{-\beta_2 E}} \right]^{\beta_3}$	$IS = H \left[\frac{1 - e^{-\beta_2 E_0}}{1 - e^{-\beta_2 E}} \right]^{\beta_3}$
Weibull (anamórfica)	$H = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E^{\beta_3}} \right]$	$IS = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E_0^{\beta_3}} \right]$	$H = IS \left[\frac{1 - e^{-\beta_2 E^{\beta_3}}}{1 - e^{-\beta_2 E_0^{\beta_3}}} \right]$	$IS = H \left[\frac{1 - e^{-\beta_2 E_0^{\beta_3}}}{1 - e^{-\beta_2 E^{\beta_3}}} \right]$
Schumacher (polimórfica)	$H = \beta_1 e^{-\beta_2 E^{-1}}$	$IS = \beta_1 e^{-\beta_2 E_0^{-1}}$	$H = \beta_1 \left(\frac{IS}{\beta_1} \right)^{\frac{E_0}{E}}$	$IS = \beta_1 \left(\frac{H}{\beta_1} \right)^{\frac{E}{E_0}}$
Chapman Richards (polimórfica)	$H = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E} \right]^{\beta_3}$	$IS = \beta_1 \left[1 - e^{(-\beta_2 E_0)} \right]^{\beta_3}$	$H = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E} \right]^{\beta_3 \frac{\ln(IS/\beta_1)}{\ln(1 - e^{(-\beta_2 E_0)})}}$	$IS = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E_0} \right]^{\beta_3 \frac{\ln(H/\beta_1)}{\ln(1 - e^{(-\beta_2 E)})}}$
Weibull (polimórfica)	$H = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E^{\beta_3}} \right]$	$IS = \beta_1 \left[1 - e^{-\beta_2 E_0^{\beta_3}} \right]$	$H = \beta_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{E}{E_0} \right)^{\beta_3} \ln \left(1 - \frac{IS}{\beta_1} \right)} \right]$	$IS = \beta_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{E_0}{E} \right)^{\beta_3} \ln \left(1 - \frac{H}{\beta_1} \right)} \right]$

Donde:

H = Altura dominante.
 IS = Índice de sitio.

E_0 = Edad base (años).
 E = Edad (años).

β 's = Parámetros a ser estimados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Campo Experimental "San Felipe Bacalar" está ubicado en el Sureste de México, donde la caoba se distribuye en poblaciones naturales, aunque dispersas y con

densidades extremas. El área de estudio se encuentra entre las coordenadas geográficas 18°46' a 18°51' norte y 88°17' a 88°32' oeste, a una altitud promedio de diez metros, en el municipio de Othón Pompeyo Blanco, Quintana Roo (Chavelas, 1981) (Fig. 1). Clima. De acuerdo con la clasificación de

Köepen, modificada por García (1983), el clima existente es un Aw(x')i o cálido subhúmedo con lluvias en verano y parte del invierno, la oscilación térmica es menor a 5°C. La temperatura media anual es de 25.5°C y la precipitación anual es de 1260 mm, con una época seca bien marcada entre diciembre y mayo (INEGI, 1986; García, 1995).

Suelos

La superficie del terreno es casi plana, localizándose la mayor parte de los tipos de suelo de la Península de Yucatán, y que según la terminología maya y su equivalente FAO – UNESCO (1970), citados por Ortiz (1997) son: Tzek'el (Litosol), Kakab (Rendzina); K'ankab (Luvisol crómico), Yax-hoom (Vertisol pélico), Ak'alche (Vertisol gleyco) y Sabana (Gleysol). Los cuatro primeros tienen un buen drenaje, los Ak'alche presentan inundaciones temporales sobre todo en épocas de lluvia y los suelos de sabana registran inundaciones permanentes (Chavelas, 1981).

Hidrología

El Campo Experimental tiene acceso en una franja de cien metros a la laguna de Bacalar, límite este de su superficie, a su vez 2,025 ha de la laguna de San Felipe se encuentran rodeadas por los terrenos del Campo y 230 ha de la laguna de la Virtud se ubican dentro de su territorio (García, 1995).

Vegetación

Según Chavelas (1981) existen los siguientes tipos de vegetación:

- a) **Selva mediana subperennifolia.** Desarrollándose sobre suelos someros (Tzek'el y K'ankab), en el estrato superior sobresalen individuos que alcanzan entre 20 y 30 m de altura, las especies más comunes son zapote (*Manilkara zapota* (L.) Van Royen), ya'axnic (*Vitex gaumeri* Grenm.), jobo (*Spondias mombin* L.), boop (*Coccoloba cozumelensis* Hemsl.), kanisté (*Pouteria campechiana* H.B.K.), ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.), amapola (*Pseudobombax ellipticum* H.B.K.) y chacá (*Bursera simaruba* L.).
- b) **Selva mediana subperennifolia.** Sobre suelos profundos (yax-hoom). El estrato superior alcanza entre 20 y 30 m,

dominado por especies como la caoba (*Swietenia macrophylla* King), granadillo (*Platymiscium yucatanum* Standl.), zapote (*Manilkara zapota* (L.) Van Royen), machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standl.), jobo (*Spondias mombin* L.), maculis (*Tabebuia rosea* (Bertol) D.C.), pucté (*Bucida buceras* L.) y k'atalox (*Swartzia cubensis* (Britt et Wilson) Standl.).

- c) **Selva baja caducifolia.** Sobre suelos temporalmente inundables, conocidos como bajos o akalchés, la vegetación soporta un período de inundación; las especies dominantes alcanzan diez metros o poco más, cuyos fustes son generalmente torcidos. Las especies más comunes son: perescutz (*Croton reflexifolius* H.B.H.), sac-páh (*Byrsonima bucidaefolia* (L.) H.B.K.), sac-chacá (*Dendropanax arboreus* (L.) Planch et Decne), caoba (*Swietenia macrophylla* King), zapote (*Manilkara zapota* (L.) Van Royen), tinto (*Haematoxylon campechianum* L.), yaití (*Gymnanthes lucida* Sw.), boop (*Coccoloba cozumelensis* Hemsl.), madre cacao o cocohite (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt. ex Walp.) y zapote faisán (*Dipholis salicifolia* (L.) A.D.C.).
- d) **Sabanas.** Son áreas que permanecen inundadas casi en forma permanente y donde dominan las ciperáceas, gramíneas (como la cortadera) y algunos árboles esparcidos de nance (*Byrsonima crassifolia* (L.) A.D.C.) y güiro (*Crescentia* sp.).

Toma de datos

Se realizaron mediciones de parcelas completas en plantaciones de caoba de diferentes edades, clasificándolas por tipo de suelo y por factor ecológico determinante del comportamiento de la especie local. Algunas plantaciones contaron con remediciones, mientras que para otras fue la primera medición, aunque se conocía la edad. En la mayor parte de las plantaciones, desde su establecimiento se desvara periódicamente la vegetación espontánea, por lo que cada plantación incluida en la muestra registró las siguientes variables:

- a) Edad: Desde el establecimiento en campo hasta la fecha de la toma de datos.

- b) Altura total: Desde la base hasta la punta, donde se identifica el fuste principal; altura del fuste limpio hasta las primeras ramas.
- c) Diámetro: Diámetro normal de cada árbol medido a 1.3 m.
- d) Tipo de suelo: Clasificado según la terminología maya.
- e) Labores de manejo: Si se han practicado labores como limpieza de malezas periódicamente, podas o aclareos.

Evaluación estadística

Se realizó un análisis estadístico para un muestreo simple estimando los parámetros de las plantaciones medidas, estandarizando a unidad de superficie (ha) el número de árboles, área basal (m^2) y volumen total (m^3),

usando el paquete Statistical Analysis System (SAS) y el procedimiento *Means* (SAS Institute Inc, 1991; 1992). Para determinar las funciones de índice de sitio, mediante el método de mínimos cuadrados, se ajustaron los modelos no lineales de Schumacher, Chapman - Richards, Weibull.

El análisis empleó el procedimiento *NLIN* del paquete SAS y el método *Marquardt* (con derivadas) (SAS Institute Inc, 1991; 1992), obteniendo las expresiones enunciadas en 2.5 y 2.6. La selección de las ecuaciones se hizo con base en la bondad de ajuste del cuadrado medio del error (*CME*), el valor de *Fc*, los estadísticos *pseudo R²*, intervalos de confianza de los estimadores, coeficiente de variación y distribución de residuales.

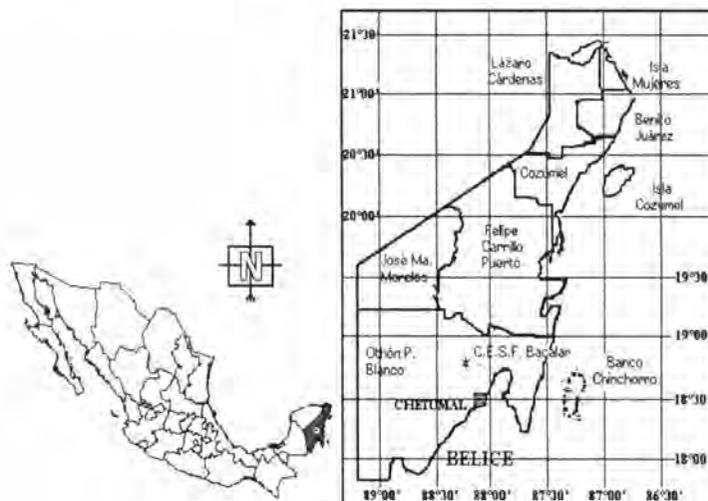


Figura 1. Localización geográfica del Campo Experimental "San Felipe Bacalar"

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características dasométricas

El Cuadro 2 presenta información dasométrica de quince plantaciones de *S. macrophylla* en el área de influencia del Campo Experimental "San Felipe Bacalar". Las plantaciones que cubren un rango de edades de siete a 34 años, creciendo en suelos, *K'ankab*, *Yax-hoom* y *Puslum*. Las variables de número de árboles, área basal y volumen total fueron estandarizados a una hectárea con fines de comparación.

Funciones de índice de sitio

Clutter *et al.* (1983), explica que para muchas

especies las áreas de buena calidad de sitio son también áreas donde ocurren altas tasas de crecimiento en altura. Para estas especies el potencial de producción en volumen y el crecimiento en altura están positivamente correlacionados. La utilidad de la correlación volumen potencial - crecimiento en altura del fuste es realmente que el patrón de altura de los árboles dominantes en rodales coetáneos resulta poco afectada por la densidad y las cortas intermedias (excepto los aclareos por lo alto). Para especies las cuales el crecimiento en altura es significativamente influenciada por la variación en la densidad inicial, la estimación de la calidad de sitio a

Cuadro 2. Características dasométricas de plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Quintana Roo

Edad (años)	SUE	NAH	ABH (m ² /ha)	VTH (m ³ /ha)	DN (cm)				DQ (cm)				HT (m)				HFL (m)			
					Pro	Min	Max	Std	Pro	Std	Pro	Min	Max	Std	Pro	Min	Max	Std		
7	PUS	1648	4.7879	47.1405	5.8	2.1	11.6	1.7	6.0	4.5	5.5	2.0	8.2	1.1	2.2	1.1	4.0	0.6		
7	KAN	1122	6.3347	56.6429	8.3	3.1	13.8	1.8	8.5	5.6	5.2	2.1	8.4	1.3	2.6	0.2	5.2	1.1		
12	YAX	929	19.3143	266.5442	15.6	4.4	26.0	4.5	16.3	11.8	11.1	5.5	26.4	2.3	7.5	2.8	13.1	1.9		
13	PUS	1221	18.1134	219.9103	13.0	4.2	27.8	4.3	13.7	11.3	8.8	4.3	12.3	1.8	6.1	1.6	10.9	1.8		
13	KAN	366	8.0849	87.6140	16.5	8.2	24.0	3.2	16.7	10.2	8.3	3.3	15.9	2.0	2.6	1.7	4.3	0.6		
19	YAX	747	13.7121	164.6946	14.1	3.6	33.5	5.9	15.3	13.6	8.5	3.0	14.6	2.4	5.4	1.1	11.7	2.0		
24	YAX	968	40.9074	573.4849	21.8	7.2	45.0	7.9	23.2	19.9	12.2	4.7	19.3	2.9	7.4	2.5	15.6	2.7		
24	PUS	1142	29.6111	396.0972	17.1	8.1	36.2	6.2	18.2	15.9	10.6	5.0	17.3	3.0	6.6	0.8	15.1	3.3		
24	PUS	1065	28.0736	384.0332	17.1	4.9	33.4	6.2	18.2	14.8	11.2	4.1	17.0	2.8	5.4	1.7	13.5	2.2		
24	PUS	1225	28.6294	387.0846	15.5	3.4	45.0	7.7	17.2	17.1	10.1	3.2	16.2	3.3	6.2	1.1	12.4	2.6		
26	PUS	582	35.2579	470.7309	25.2	7.5	86.0	11.6	27.8	29.2	11.8	5.0	16.8	2.8	7.7	2.3	13.9	2.7		
26	PUS	1425	26.6440	370.4313	14.2	2.8	36.2	6.0	15.4	13.9	10.6	2.3	17.3	2.9	5.4	1.2	11.8	2.1		
34	PUS	777	32.3760	477.6763	21.0	4.4	49.7	9.5	23.0	21.3	12.7	4.8	21.3	3.4	7.2	1.6	12.7	2.6		
34	PUS	323	28.9529	429.4121	32.9	16.5	47.8	7.5	33.8	22.4	15.5	11.6	19.2	1.5	6.5	3.0	12.8	1.9		
34	KAN	333	24.3756	369.4720	29.3	9.7	46.8	8.5	30.5	22.4	15.5	11.5	19.1	1.8	6.2	2.4	10.2	1.7		

Donde: SUE = Tipo de suelo (Clasificación maya).
 PUS = Puslum.
 KAN = K'ankab.
 YAX = Yax-hoom.
 ABH = Área basal (m²/ha).
 VTH = Volumen total (m³/ha).

NAH = Número de árboles por ha.
 DN = Diámetro normal (cm).
 DQ = Diámetro cuadrático (cm).
 HT = Altura total (m).
 HFL = Altura de fuste limpio (m).

partir de datos provenientes de esos rodales puede proveer resultados muy pobres a menos que se incluyan relaciones que reflejen el efecto de la densidad a distintas edades (Clutter *et al.*, 1983).

Usuarios de las curvas de índice de sitio erróneamente suponen que el objetivo de los procedimientos de índice de sitio es la predicción de la altura del rodal a una edad indicada. El verdadero objetivo es la selección del patrón de desarrollo en altura que el rodal puede esperar seguir durante el resto de su vida (Clutter *et al.*, 1983). Para este propósito se eligieron entre 20 y 25 árboles dominantes y codominantes de cada plantación (424 individuos), y en este caso que trata captar toda la variabilidad y potencial genético de los individuos y de la respuesta del crecimiento en altura en los microambientes en que se desarrollan, ningún árbol elegido se discrimina por presentar tendencias atípicas del resto de los seleccionados y que influye en la obtención de mejor o peor ajuste de las ecuaciones. Para Clutter *et al.* (1983), no es raro que en estudios de índice de sitio se obtengan bajos ajustes en las regresiones, lo que puede deberse a la respuesta del crecimiento de los árboles en diferentes condiciones (suelo, clima, etc.) o a los errores de muestreo, sobre todo cuando se trabaja con variables del suelo.

Curvas anamórficas

Se observan los resúmenes de resultados de

los análisis de varianza para los modelos probados y las tendencias de los valores predichos en el Cuadro 3 y la Figura 2. La literatura indica que Schumacher subestima el crecimiento a edades tempranas (Figura 2a) y lo sobreestima al final de las curvas, tal como se observa en la asíntota (Cuadro 3), lo que se debe a la geometría del modelo (Madrigal, 1995; Madrigal y Ramírez, 1995; Rodríguez, 1996). Por su parte, con los modelos de Chapman - Richards y Weibull ajusta mejor las ecuaciones estimadas, pero las ecuaciones sobreestiman el crecimiento para edades tempranas y lo subestiman al final de las curvas (Figuras 2b y 2c). Se observa en este caso que con los modelos de Chapman - Richards y Weibull se logran buenos ajustes para este tipo de curvas, lo cual concuerda con lo obtenido por Rodríguez (1996), y aunque el modelo de Chapman - Richards minimiza la suma de cuadrados del error y por consecuencia el Cuadrado Medio del Error ($CME=1.20979$) y la desviación estándar del error asíntótico, difiere muy poco del modelo Weibull.

El que los modelos de Chapman - Richards y Weibull sobreestimen el crecimiento al inicio de las curvas y lo subestimen al final, para el caso es lógico si pensamos en la especie, sus hábitos de crecimiento y las edades de las plantaciones, dado que los árboles aun están fase acelerada de crecimiento. El parámetro β_1 representa el valor asíntótico o máxima altura que los

Cuadro 3. Resumen del análisis de varianza de tres modelos para construir curvas anamórficas de índice de sitio mediante el método de la curva guía para *Swietenia macrophylla* King, en Quintana Roo.

MODELO	GL	CME	FC	R ²	PARÁMETROS	STD DEL ERROR		LÍMITES (95%)	
						ASINTÓTICO	INFERIOR	SUPERIOR	
Schumacher	423	1.365323	24286.24325	0.99	$\beta_1=20.2201385$ $\beta_2=-7.2068830$	0.1796807919 0.1599486372	19.86695240 -7.521283062	20.57332461 -6.89248310	
Chapman Richards	422	1.20979	18290.66487	0.99	$\beta_1=18.1310409$ $\beta_2=0.0751838$ $\beta_3=1.0566482$	0.21654747298 0.0234436484 0.18321222538	17.705385599 0.029101944 0.696518148	18.556696198 0.121265691 1.416778270	
Weibull	422	1.212312	18252.42894	0.99	$\beta_1=18.23445287$ $\beta_2=0.06742382$ $\beta_3=1.01980030$	0.40214500454 0.00397369826 0.03489600800	17.443978843 0.059612944 0.951207165	19.024926892 0.075234698 1.088393442	

árboles pueden alcanzar (teóricamente a una edad infinita) en este caso a la edad de 34 años, ya que fue el universo de datos altura dominante - edad con que se trabajó para el ajuste de las ecuaciones indicadas en el Cuadro 1.

Se observan en la Figura 2a, 2b y 2c las tendencias de los valores predichos para las familias de curvas generadas, al detectar que la ecuación de Schumacher, subestima el crecimiento a edades tempranas y lo sobrestima al final de las curvas, tal como se observa en las asíntotas, ya que predice valores superiores a los observados. Los puntos de inflexión de máximos incrementos en los tres casos, se presentan a la misma edad, lo que coincide con lo reportado por Madrigal (1995) y Madrigal y Ramírez (1995). Los modelos de Chapman-Richards y Weibull, presentan ligeramente un mejor ajuste, según la bondad del CME y tienen una mayor fidelidad para representar los datos observados. En todos los casos, la curva guía corresponde al índice de sitio de 16 m.

La calificación del índice de sitio para cada una de las plantaciones y tipos de suelo, de acuerdo a la ecuación de Chapman-Richards, son respectivamente: 16.03 (*Puslum*), 16.07 (*K'ankab*), 19.66 (*Yax-hoom*), 18.20 (*Puslum*), 17.60 (*K'ankab*), 18.93 (*Yax-hoom*), 20.85 (*Yax-hoom*), 20.41 (*Puslum*), 18.89 (*Puslum*), 19.82 (*Puslum*), 20.22 (*Puslum*), 20.20 (*Puslum*), 21.34 (*Puslum*), 21.30 (*Puslum*) y 21.25 (*K'ankab*). En promedio, los índices de sitio para el suelo *Puslum* es de 19.71 m (STD = 1.66), para suelo *K'ankab* de 18.21m (STD = 2.66) y para *Yax-hoom* de 19.81 m (STD = 0.97), respectivamente a la edad base de 30 años, lo cual indica que los árboles tienen más potencial de crecimiento cuando se desarrollan en suelos tipo *Yax-hoom*.

Curvas polimórficas

Como β_2 es el parámetro dependiente del sitio que representa la velocidad de crecimiento y el *IS* es igual a la altura a la edad base, para graficar la familia de curvas polimórficas, de las ecuaciones anteriores, se despejó β_2 y se obtuvieron las ecuaciones que se indican en el Cuadro 1 mismos que sirvieron para generar las familias de curvas polimórficas y calificar el índice de sitio para plantaciones específicas.

Evidentemente, se presentó polimorfismo en las curvas y los puntos de inflexión para cada índice de sitio ocurren a diferentes edades, alcanzando los puntos de máximo incremento en los sitios de mayor calidad de estación (Figura 2d, 2e y 2f), lo cual concuerda con Rodríguez (1996) y Madrigal (1995).

Al comparar el comportamiento de las curvas con los datos observados, se detecta que la ecuación de Schumacher y Chapman - Richards (Figura 2d y 2e) sobreestiman en gran medida la altura dominante de los árboles en índices de sitio de mayor calidad de estación y sobre todo a edades tempranas y la subestima en calidades de sitio pobres. Por su parte, la ecuación Weibull (2f) representa más fielmente a los datos observados, por lo que en este caso se considera que es la mejor ecuación (Fig. 2).

Aceptando como cierto el polimorfismo del crecimiento de los árboles desarrollándose en diferentes suelos y calidades de sitio es indudable que, teóricamente, el potencial del patrón de desarrollo en altura que las plantaciones pueden seguir durante el resto de su vida, sea representado más confiablemente a través del modelo Weibull (Figura 2f).

Índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México

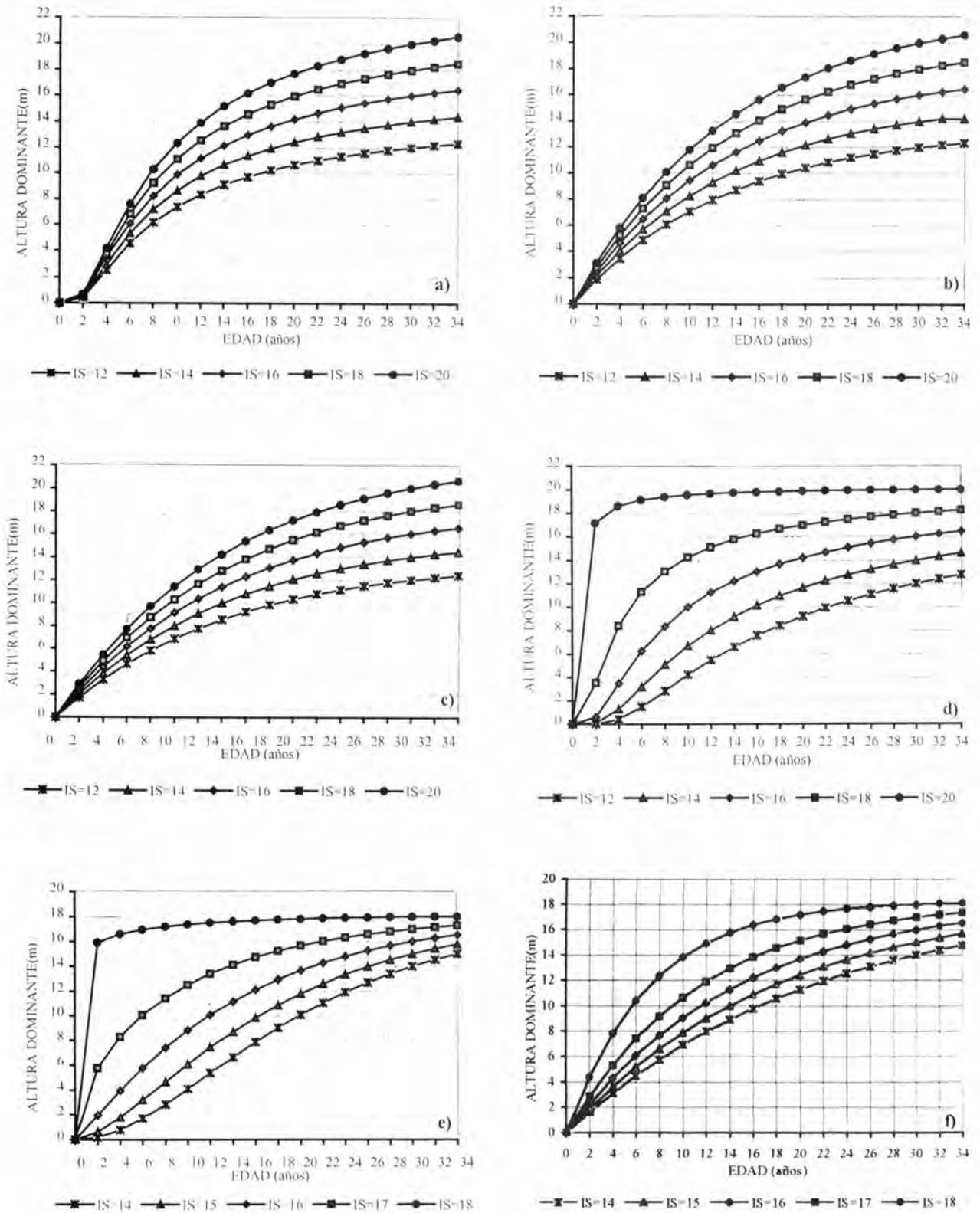


Figura 2. Curvas de índice de sitio para *Swietenia macrophylla* King, a la edad base de 30 años en Quintana Roo, México, empleando el método de la curva guía y modelos de Schumacher, Chapman - Richards y Weibull (a, b y c: anamórficas; d, e y f: polimórficas).

CONCLUSIONES

Con base en los estadísticos presentados, para la estimación de la calidad de sitio, las expresiones de Chapman – Richards y Weibull en su versión anamórfica presentan los mejores ajustes y representan mejor la tendencia de los datos observados, pero de los dos el de Chapman – Richards se considera el mejor.

La ecuación Weibull, para las curvas polimórficas, resulta ser la que con mayor fidelidad representa a los datos observados, por lo que en este caso se considera que es una buena ecuación.

Las técnicas utilizadas proveen resultados aceptables para la estimación del índice de sitio para plantaciones de caoba en la zona de estudio.

REFERENCIAS

- Acosta M., M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. En el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. México. 80 p.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia a los trópicos. Vol. 2. Predicción del rendimiento. FAO. Montes. Roma, Italia. 118 p.
- Ayerde L., D. 1996. Análisis de curvas de crecimiento de árboles y masas forestales. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Bailey, R.L. and T.R. Dell. 1973. Quantifying diameters distribution with the Weibull function. *For. Sci.* 19:97-104.
- Chapman, D.G. 1961. Statistical problems in populations dynamics. *Proc Fourth Berkely Symp Math Stat and Prob.* Univ Calif Pres, USA. p. 153-168.
- Chavelas P., J. 1981. Campo Experimental Forestal San Felipe Bacalar. *Ciencia Forestal* 1(3):65-82. México. p 65-82.
- Clutter, J.L.; J.C., Fortson; L.V., Pienaar, G.H., Brister and R.L., Bailey. 1983. *Timber management a quantitative approach.* Wiley and Sons, New York. 333 p.
- Curtis, R.O. 1964. A stem - analysis approach to site - index curves. *For. Sci.* 16: 403-414.
- Devan J., S. and H.E. Burkhart. 1982. Polimorphic site index equations for loblolly pine based on a segmented polynomial differential model. *Forest Science* 28(3):345-353.
- Fisher, R.A. and L.E.C. Tippett. 1928. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. *Proc. Cambridge Phil. Soc.* 24, 180-190.
- García C., X. 1995. Campo Experimental "San Felipe Bacalar". SAGAR-INIFAP. Centro de Investigación Regional del Sureste. Quintana Roo, México.
- García, E. 1983. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D. F. México. 252 p.
- INEGI, 1986. Anuario estadístico del estado de Quintana Roo. Gobierno del estado de Quintana Roo.
- Madrigal H., S. 1995. Determinación de la productividad de dos especies de pino considerando características físicas y químicas del suelo en Michoacán. Tesis de maestría en ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México.
- Madrigal H., S. y H. Ramirez M. 1995. Comparación de nueve modelos empíricos para la determinación de índice de sitio en Michoacán. *Revista Ciencia Forestal en México.* 20(79):35-57.
- Magaña T. O.S., J.M.Torres R., y M. Acosta M. 1992. Guía de uso de WEST: Programa para estimar parámetros de la función de distribución de probabilidades Weibull. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. (En prensa).
- Ortiz S., C.A. 1997. Fundamentos de pedología. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Edafología. Montecillo, México.
- Pienaar, L.V. & R.J. TURNBULL. 1973. The Chapman - Richards generalization of Von Bertalanfy growth models for basal area growth and yield in even - age stands. *For. Sci.* 19(1):2-21.
- Pritchett., H.W. and R.F. Fisher. 1987. *Properties and management of forest soils.* 2nd ed. USA. 494 p.
- Prodan., M. 1968. *Forest biometrics.* Trad. By S.H. Gardiner. Oxford Pergamon Press. 447 p.
- Ramírez A., H. 1981. Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. *Ciencia Forestal en México.* 16(70):87-108.
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10(29):290-300.
- Rodríguez S., B. 1996. Estimación del crecimiento y relaciones dasométricas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en plantaciones forestales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 104 p.
- SAS INSTITUTE INC. 1992. *SAS/STAT User's Guide.* Release 6.03 Edition. Cary, NC. USA. 1028 p.
- Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. 1994. *Inventario Nacional Forestal Periódico.* Memoria Nacional, México.
- Schumacher., F.X. 1939. A new growth curve and its applications to timber yield studies. *Journal of Forestry* 37:819-820.
- Spurr, S.H. 1952. *Forest inventory.* New York. Wiley. pp 275-292.
- Stage., A.R. 1963. A mathematical approach to polimorphic site index curves for grand fir. *Forest Science.* 9(2):67-80
- Zamudio S. F. J. y D. Ayerde L. 1997. Modelos de crecimiento. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales.* 3(1):79-87.
- Zepeda B., E.M. y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: Ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal.* 9(51):3-38.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE PLÁNTULAS DE *Pinus greggii* Engelm EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN VIVERO

Antonio Cano Pineda¹, J. Jesús Vargas Hernández², Víctor A. González Hernández³, Gil Vera Castillo⁴, Víctor M. Cetina Acalá²

RESUMEN

Con el propósito de determinar el efecto del sistema de producción sobre las características morfológicas que definen la calidad de la planta en *Pinus greggii* Engelm. se compararon dos lotes de la misma procedencia y edad en el vivero forestal Santa Lucía, Estado de México. Uno de los lotes se produjo en contenedores de unicel en invernadero, con sustrato inerte, control de riego y fertilización (sistema tecnificado); y el otro en bolsa negra de polietileno, a la intemperie, con tierra de monte y sin control estricto de riego y sin fertilización (sistema tradicional). En ambos lotes se obtuvo un coeficiente de variación mayor de 20 % en la mayoría de las características evaluadas. Los dos difieren entre sí, en tanto los valores promedio, como en los coeficientes de variación de dichas características. El producido con el sistema tecnificado tuvo un desproporcionado crecimiento de la parte aérea de la planta, en comparación con las plantas del sistema tradicional. A los 8.5 meses de edad la relación parte aérea/raíz en el primero (6.67) fue casi el doble que en el segundo (3.57). El sistema tecnificado fue más homogéneo en altura, diámetro, y peso seco total de las plantas, pero más heterogéneo en el número de ramas y volumen de raíz.

Palabras clave *Pinus greggii* Engelm., variabilidad morfológica, sistemas de producción, calidad de planta.

ABSTRACT

In order to determine the effect of the production system on the variability of morphological traits in *Pinus greggii* seedlings, two groups of the same seedlot and age were compared at the "Santa Lucía" forest nursery, Estado de México. One of them was produced in styroblock containers with inert substrate inside a greenhouse, with irrigation and fertilization control (technified system), the other was produced outdoors, in polyethylene bags with forest topsoil as substrate, and without irrigation or fertilization control (traditional system). Both groups had coefficients of variation above 20 % in most traits evaluated. However, they differed in both mean values and variability of those traits. Seedlings produced with the "technified" system had a disproportionate shoot growth as compared to the seedlings in the "traditional" system. At 8.5 months of age, shoot:root ratio of seedlings in the technified system (6.67) was almost twice as large as in the "traditional" system (3.57). Seedlings in the "technified" system were more homogeneous in height, diameter, and biomass, but not in the number of branches and root volume, than seedlings in the "traditional" system.

Key words *Pinus greggii* Engelm., morphological variability, production systems, seedling quality

INTRODUCCIÓN

La investigación para la producción de planta en vivero ha propiciado el desarrollo de nuevas tecnologías que facilitan y hacen más eficiente su propagación. Cuando estas tecnologías son económicamente factibles se han adoptado en algunos viveros de México. Sin embargo, no siempre es posible y el sistema tradicional de producción de planta en bolsa de polietileno todavía es ampliamente utilizado en el país por razones de costos de inversión y escalas de producción. De hecho en algunos viveros de la Secretaría de la Defensa Nacional SEDENA donde se produce la mayor cantidad de

planta en el país con fines de recuperación y de protección, se utilizan los sistemas tecnificado y tradicional en forma simultánea; en este caso se aplican prácticas de cultivo distintas, y se generan condiciones diferentes de crecimiento, por lo cual las plantas obtenidas podrían diferir en sus características morfológicas (altura, diámetro, forma y tamaño de la raíz). Dicha situación podría influir directamente en la calidad de la planta producida en su comportamiento en el campo (Duryea y Landis 1984)); sin embargo, hasta la fecha no se han realizado estudios para caracterizar las diferencias entre los lotes de la planta producida con ambos sistemas. El

¹Investigador-Titular, CIRNE / INIFAP Correo-e: mendoza@cirne.inifap.conacyt.mx

²Profesor-Investigador, IRENAT / Colegio de Postgraduados

³Profesor-Investigador, IREGEP / Colegio de Postgraduados

⁴Investigador-Titular, CIRCE / INIFAP

tamaño de planta (principalmente altura y diámetro) ha sido frecuentemente usado como criterio de calidad para la selección de un lote de plantación en ausencia de mejores alternativas (Thompson, 1985). Jalkanen, Rikala y Smalander (1992) encontraron que en un lote de plantas, puede haber una amplia variación morfológica como resultado del sistema de producción, lo que incide en su calidad y desempeño después de plantado; la diferencia en tamaño o heterogeneidad puede ayudar a decidir el destino de plantación de cada lote (Räsänen y Kaila, 1980).

Pinus greggii es una especie muy rústica y que posee buenas características para desarrollarse con cierta facilidad sobre terrenos pobres; posee la habilidad de crecer rápidamente y ha sido reportada como tolerante tanto a la sequía como al ataque de algunas plagas (González, 1978 y Eguluz 1978). Estas características la han hecho una especie muy utilizada con fines de protección o recuperación de áreas degradadas, reproduciéndose en grandes volúmenes en muchos de los viveros forestales del país, principalmente en aquellos destinados a colaborar con programas de reforestación masiva. Con base en lo anterior, en este trabajo se comparan los valores promedio y la heterogeneidad de dos grupos de plantas de *P. greggii* del mismo lote de semilla y edad, obtenidas en dos sistemas de producción diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del trabajo

El trabajo se desarrolló en las instalaciones del Vivero Militar Santa Lucía, perteneciente a la Secretaría de la Defensa Nacional, ubicado en el Km 30 de la carretera Federal México-Pachuca, Edo. de México. Las plantas de *Pinus greggii* Engelm fueron producidas utilizando los dos sistemas de producción (tecnificado y tradicional) con las prácticas de cultivo que se realizan en forma operativa dentro del vivero; estas plantas proceden de un mismo lote de semillas, colectado en la localidad El Piñón, Municipio de Jacala, del estado de Hidalgo, México.

Sistemas de producción de planta

Previo a la siembra, las semillas fueron remojadas en agua por un periodo de 48

horas y se les aplicó fungicida en forma superficial. En el sistema tecnificado se utilizaron charolas de unicel con 112 cavidades de 3.5 cm de diámetro y 10 cm de profundidad, colocando tres semillas por cavidad sin recubrimiento en las paredes y con una perforación en la base de cada cavidad para facilitar el drenaje. El sustrato consistió en una mezcla de "peat moss", vermiculita y agrolita en proporción de 56:24:20, respectivamente. Se agregaron cinco Kg/m³ de sustrato de fertilizante "Osmocote" de lenta liberación (18:16:12), después de la siembra se regó el sustrato y a partir del segundo día se aplicó una lámina diaria de 2 a 3 mm de agua. Las charolas fueron colocadas en mesas dentro de un invernadero y cubiertas con una malla para evitar el ataque de pájaros a las semillas y plántulas recién germinadas; la germinación se presentó entre los 18 y 20 días después de la siembra. Durante los primeros 45 días se utilizó una dosis de fertilización (iniciadora) (Peters 7-40-17) a una concentración de 75 a 100 ppm. Después a los 45 días fue sustituida por una fórmula de crecimiento (20:8:20) con micronutrientes a una concentración de 200 ppm; esta dosis se aplicó cada tercer día con una lámina de agua de seis mm. A los siete meses de edad se aplicó una fórmula (finalizadora) (4:25:35) junto con el riego; además, durante este último periodo (1 a 2 meses) se hicieron aplicaciones de fertilizante foliar (22:15:7) cada 15 días hasta que la planta alcanzó la talla de salida del vivero (30 cm). Para el control del "Damping-off" aplicó Banro (fungicida sistémico) cada semana a razón de 1 g/l de agua, desde la germinación hasta la desaparición del color rojizo en el tallo de las plántulas; a pesar de que no existieron problemas de insectos, se empleó insecticida sistémico Furadan a los 20 días después de la germinación en la dosis recomendada por el fabricante.

Las plantas utilizadas en el sistema tradicional se obtuvieron del aclareo de plántulas en las charolas de unicel que se sembraron inicialmente; este aclareo se hace en forma cotidiana en el vivero, para dejar una sola planta por cavidad en el sistema tecnificado y aprovechar el excedente de plántula germinada en bolsas de plástico. Se utilizaron bolsas negras de plástico, con capacidad aproximada de 700 mm³ (23 x 10 cm) con ocho perforaciones alrededor y a un

cm de la base para facilitar el drenaje. El sustrato utilizado en las bolsas fue tierra de monte y corteza de pino molida en proporción 9:1 de volumen. El transplante a bolsas se inició tres semanas después de la germinación; y cuando la longitud de la raíz en las plántulas era mayor de cinco cm, se pudo antes del transplante. Los envases se colocaron en platabandas de crecimiento acondicionadas con acolchado plástico y una malla media sombra a 30 cm de altura sobre las plántulas, que se mantuvo durante las siguientes cuatro semanas; los riegos se aplicaron cada tercer día, aunque en ocasiones se modificaron en función de las condiciones atmosféricas; no se agregó fertilizante durante el período de producción, ni ningún otro producto químico.

Caracterización morfológica

Desde el inicio del estudio se identificó una muestra de mil plantas de cada lote de producción, distribuidas de la siguiente manera: Se etiquetaron en el sistema tecnificado 30 charolas repartidas aleatoriamente en el lote de producción para capturar la posible variación inherente al ambiente en la nave del invernadero. En cada fecha de muestreo (4.5, 6.5, 7.5 y 8.5 meses, hasta el momento de la salida de la planta a campo) se tomó una hilera (8 plantas) de cada una de las 30 charolas de unicel. De esta manera, en cada ocasión se seleccionaron 240 plantas para su evaluación morfológica. En el sistema tradicional se etiquetaron cuatro hileras de plantas en un arreglo al azar en cada una de las 24 platabandas de crecimiento para muestrear la variación ambiental o de manejo existente en cada una de ellas. En las mismas fechas de muestreo que en el caso anterior se eligió una hilera (10 plantas) de cada platabanda para completar las 240 plantas requeridas por la muestra.

Se midió la altura total de cada planta seleccionada procedente de ambos sistemas, desde el cuello de la raíz hasta la yema apical; el diámetro en la base del tallo; el número de ramas; el volumen de la raíz, determinado mediante el desplazamiento de agua; y para la determinación de biomasa, se deshidrataron las muestras a 70 °C durante 72 horas, separando follaje, tallos y raíz. Con lo que se obtuvo, además, el peso seco total y la relación parte aérea / raíz.

El análisis de las variables incluyó una

prueba de normalidad con el procedimiento Univariate de SAS (1985), que genera estadísticos descriptivos sobre la distribución de las variables y prueba la hipótesis nula de que los valores de la muestra tienen una función de distribución normal. Para comparar los valores promedio y las varianzas de las muestras entre los dos sistemas de producción, se utilizaron las pruebas de "t" (comparación de medias de dos poblaciones) y de "F" (homogeneidad de varianzas) de acuerdo a los procedimientos descritos por Steel y Torrie (1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta

La distribución de frecuencias de la altura de planta fue muy cercana a la normal en el total de las fechas de muestreo en los dos sistemas productivos. En ambos casos se observaron valores de asimetría y curtosis positivos muy cercanos a cero. Además, durante los primeros cuatro meses de edad, no se encontraron grandes diferencias en el tamaño promedio, ni en la varianza de las muestras entre los dos sistemas. Sin embargo, en los últimos dos meses de crecimiento, las diferencias en altura promedio de las plantas entre ambos sistemas de producción aumentaron hasta llegar a ser casi tres veces mayor en el sistema tecnificado a los 8.5 meses de edad (27.6 contra 10.9 cm). La varianza de los lotes también aumentó aunque no en la misma proporción, por lo que a esa edad la varianza en la altura de las plantas fue sólo dos veces mayor en el sistema tecnificado; debido a lo anterior, el lote producido con este sistema tuvo un coeficiente de variación ligeramente menor que el lote del sistema tradicional (Figura 1).

El poco crecimiento en altura durante los primeros cuatro meses en los dos sistemas (< 6 cm) se atribuye a la época del año en que se sembró, ya que coincidió con el período de otoño-invierno, cuando las plantas entran en reposo. No obstante, las mejores condiciones ambientales del invernadero así como el mayor control del riego pudieron influir, en un mayor incremento en altura en plantas del sistema tecnificado; las plantas del sistema tradicional a la intemperie crecieron en este

periodo, 30 % menos que en el sistema tecnificado. El mayor incremento en altura en los dos sistemas ocurrió durante el período primavera-verano; bajo el sistema tecnificado este crecimiento se relaciona con las prácticas culturales más intensivas utilizadas (riego y fertilización); el menor tamaño de las plantas en el sistema tradicional probablemente se debe a la escasa disponibilidad de agua, ante una mayor demanda transpiratoria. Lanner (1976) y Johnson y Cline (1991) mencionan que durante el primer año de vida las especies arbóreas poseen un patrón de crecimiento libre o indeterminado, lo que implica que las plántulas pueden crecer activamente mientras que el ambiente lo permita (situación común en los viveros), aun durante el otoño y el invierno. Una alta densidad de plantas también produce un mayor alargamiento del tallo debido a la competencia por luz entre ellas (Brissette y Carlson, 1987; Timmis y Tanaka, 1976).

El empleo de cantidades ilimitadas de agua promueven el crecimiento en altura, lo cual es positivo si se busca un rápido alargamiento; sin embargo, un crecimiento

muy grande y continuo de la parte aérea afecta en forma negativa el comportamiento de la planta en campo (Duryea y Landis, 1984); los mismos autores señalan que un riego moderado, por otro lado, promueve el desarrollo de plantas de menor altura pero con un mejor potencial de comportamiento en campo.

Diámetro del tallo

Al igual que en el caso de la altura, se encontraron diferencias entre los dos sistemas de producción en el valor promedio y en la varianza del diámetro de las plantas, indicando que los dos sistemas producen plantas con diámetros muy diferentes. A pesar de que durante los primeros meses los lotes fueron muy homogéneos en esta característica, la variabilidad aumentó con la edad, alcanzando a los 8.5 meses diferencias de 71 y 88 % con respecto a la primera evaluación en los dos sistemas de producción. A esa edad las plantas del sistema tecnificado tenían un diámetro promedio 30% mayor que las plantas del sistema tradicional (Fig. 2).

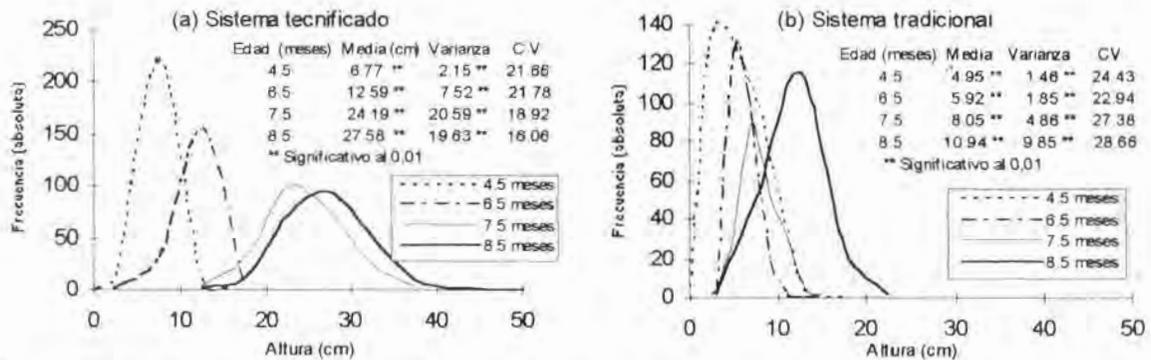


Figura 1. Distribución de frecuencias de la altura de planta en un lote de *Pinus greggii*, durante 8.5 meses de crecimiento en dos sistemas de producción en vivero

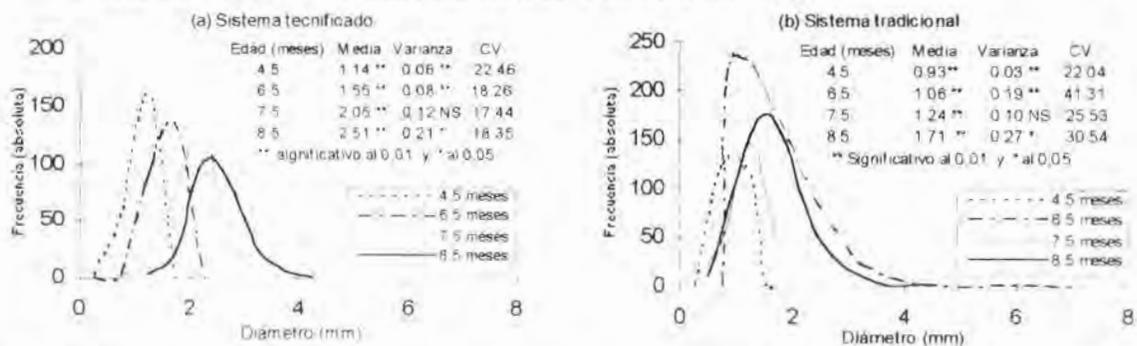


Figura 2. Distribución de frecuencias del diámetro de tallo en un lote de *Pinus greggii*, durante 8.5 meses de crecimiento en dos sistemas de producción en vivero

Los mayores diámetros en plantas del lote del sistema tecnificado denotan la influencia de las prácticas culturales intensivas como el control del riego y fertilización, así como las condiciones favorables de crecimiento. Se ha encontrado que la nutrición nitrogenada es un factor importante en el aumento en diámetro de las plantas en vivero (Mexal y Landis, 1990). Van den Driessche (1992) también encontró una correlación positiva entre la dosis de fertilización y el diámetro del tallo en plantas de varias especies de coníferas.

Peso seco total

La distribución de frecuencias de esta variable mostró valores de curtosis y de asimetría positivos y relativamente elevados, especialmente en el sistema tradicional, alejándose de una distribución normal. A pesar de ello, a los 8.5 meses de edad se encontraron diferencias significativas entre los dos sistemas de producción en los valores promedio y en las varianzas de las plantas (Fig. 3). La mayor diferenciación entre los lotes ocurrió en los últimos cuatro meses de crecimiento; al final del estudio el lote del sistema tecnificado presentó un peso seco total promedio 57 % mayor que el lote del sistema tradicional (Fig. 3).

A pesar de que la varianza de los lotes es similar en valores absolutos, debido al menor valor promedio observado en el sistema tradicional, su coeficiente de variación fue del doble con respecto al del sistema tecnificado. De lo anterior se deduce el impacto de las prácticas culturales del

sistema tecnificado sobre el crecimiento de la parte aérea al generar tallos mas alargados y mayor follaje. Duryea y Landis (*op. cit.*) indican que la fertilización, especialmente la nitrogenada, produce plantas con tallos más largos y diámetros mayores, aumentando en consecuencia la acumulación de biomasa.

Número de ramas

Esta variable presentó valores de curtosis positivos y relativamente elevados, especialmente en el lote del sistema tradicional, indicando desviaciones moderadas con respecto a la distribución normal, debido probablemente a que se trata de una variable discreta. De cualquier manera, se detecta diferencias altamente significativas entre los lotes en los valores promedio y en las varianzas (Fig. 4). A pesar de que el lote del sistema tecnificado tuvo un número promedio de ramas por planta relativamente bajo (0.37 ramas/planta a los 8.5 meses), presentó un coeficiente de variación casi dos veces mayor que en el sistema tradicional. Al parecer, la alta densidad en que se desarrollaron las plantas del sistema tecnificado influyó sobre la carencia de formación de ramas en la plántulas; en cambio, la densidad de plántulas por m² en el sistema tradicional disminuyó la competencia por luz y espacio de crecimiento, estimulando la formación de ramas. Para Donald (1968) la arquitectura del tallo, especialmente la capacidad de ramificación se modifica por efecto de la competencia por espacio de crecimiento.

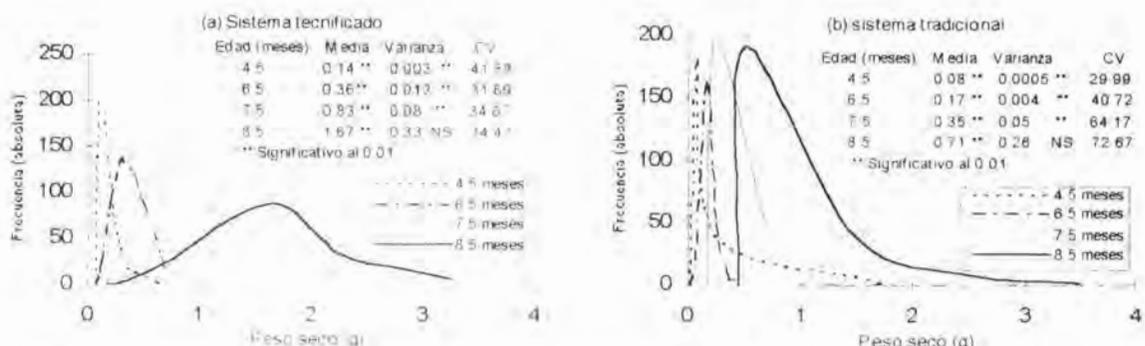


Figura 3. Distribución de frecuencias del peso seco total en plantas de un lote de *Pinus greggii*, durante 8.5 meses de crecimiento en dos sistemas de producción en vivero

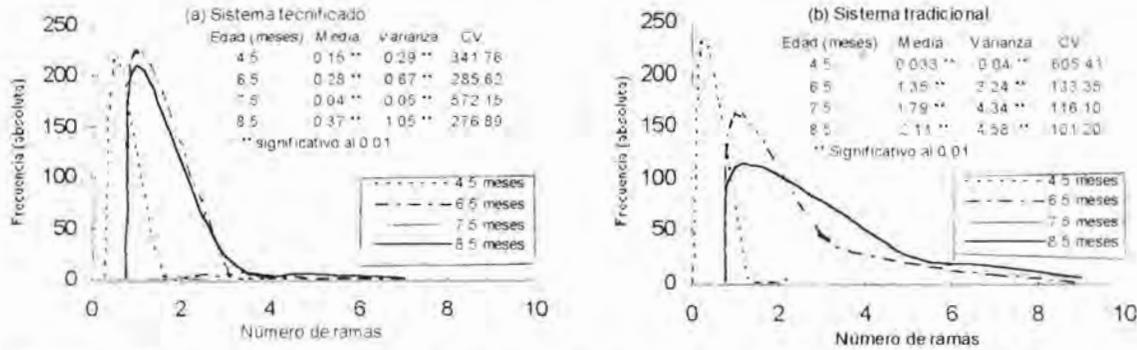


Figura 4. Distribución de frecuencias del número de ramas en un lote de *Pinus greggii*, durante 8.5 meses de crecimiento en dos sistemas de producción en vivero.

Los espaciamientos amplios favorecen el desarrollo de ideotipos competitivos, de acuerdo con Canell, Bridgwater y Greenwood (1978), que presentan un buen crecimiento en altura y densidad de follaje, una copa amplia con un número elevado de ramas, y un lento envejecimiento de éstas, mientras que un aumento en la densidad favorece el desarrollo de ideotipos "productivos o de cultivo", que presentan tallos delgados, copas puntiagudas, un número reducido de ramas y un rápido envejecimiento de éstas.

Volumen de la raíz

Al igual que la variable anterior, el volumen de raíz tuvo una distribución de frecuencias con valores positivos de curtosis en los dos sistemas de producción, especialmente a los 8.5 meses de edad, indicando un exceso de valores elevados de volumen de raíz con respecto a la media. Además, se encontraron diferencias significativas entre los dos sistemas de producción en los valores promedio y en las varianzas con esta característica (Fig. 5). Al momento de salir a plantación, el volumen medio de la raíz en el sistema tecnificado fue 16% mayor que el de las plántulas producidas en el sistema tradicional. A pesar de que el primer lote presentó una varianza 30 % mayor que el segundo, ésta se asoció a los mayores valores encontrados en el primero, ya que el coeficiente de variación fue similar en los dos lotes de plantas (Fig 5).

A pesar de las diferencias encontradas entre los dos sistemas, en ambos se encontraron valores promedio relativamente bajos, menores de 1.1 cm³. De hecho, en el sistema tecnificado más de 75% de las plantas tuvo un volumen de raíz menor de 3

cm³, mientras que en el sistema tradicional más del 75% presentó volúmenes menores de 2 cm³. El reducido volumen de raíz registrado en los sistemas se debió a la poca fibrosidad y ramificación de raíces encontrada. Esto implica la necesidad de implementar prácticas de cultivo que promuevan el desarrollo de raíces laterales en las plantas. La poda mecánica y química ha llegado a ser una práctica común para modificar la arquitectura de la raíz en viveros de otras partes del mundo, ya que ello promueve el desarrollo de raíces laterales secundarias y terciarias mejorando la fibrosidad (Johnson y Cline, 1991); además estos autores aseguran que un sistema radical fibroso posee una alta conductividad hidráulica, lo cual puede ser ventajoso para la supervivencia de las plantas.

Relación parte aérea/raíz

Las plantas de los dos sistemas de producción tuvieron un coeficiente de variación similar en la relación parte aérea/raíz, aunque relativamente elevado (mayor que 35 %), indicando una falta de homogeneidad en el desarrollo de las plantas. Además, las plantas del sistema tecnificado desde el primer muestreo (4.5 meses de edad) presentaron valores promedio de la relación parte aérea/raíz mucho mayores que en el sistema tradicional (Fig. 6); a los 8.5 meses de edad, estos valores eran 46 % mayores en el primero con respecto al segundo. En el sistema tecnificado cerca del 25% de las plantas tuvieron una relación parte aérea/raíz mayor que 8.0, (Fig. 6) lo cual evidencia un gran desbalance en el crecimiento y asignación interna de recursos. Por lo anterior, estas

plantas tendrían pocas posibilidades de supervivencia en el campo, sobre todo si existen condiciones ambientales que limiten la disponibilidad inicial de agua ya que el pobre sistema radical tendría serias dificultades para satisfacer la demanda transpiratoria de una parte aérea tan elevada. Mas grave aun parece el hecho de que dentro del sistema tecnificado menos del 10% de las plantas tuvieron una relación parte aérea/raíz menor que 4.0 (Fig. 6); esto se traduce en que prácticamente todo el lote de producción tiene una elevada proporción parte aérea/raíz, situación que eleva el riesgo de mortalidad si se establece en un sitio con condiciones ambientales desfavorables. Lo anterior hace necesario aplicar prácticas de cultivo asociadas a este sistema de producción para reducir el fuerte

desequilibrio existente en la distribución del crecimiento de las plantas en el vivero.

En el sistema tradicional sólo un 11% de las plantas tuvieron una relación parte aérea/raíz mayor que 5.0 y cerca del 50% de las plantas tuvo valores menores que 3.5 en esta relación (Fig. 6), lo cual se acerca más al límite superior recomendado en la literatura como meta de producción en un vivero con fines de reforestación (Thompson, 1985).

Sin embargo, dado que sólo el 10% de las plantas en este sistema presentó una relación parte aérea/raíz menor o igual a 2.0, también es importante considerar en este sistema la aplicación de prácticas culturales que permitan un mayor equilibrio en la asignación de recursos a la raíz y parte aérea.

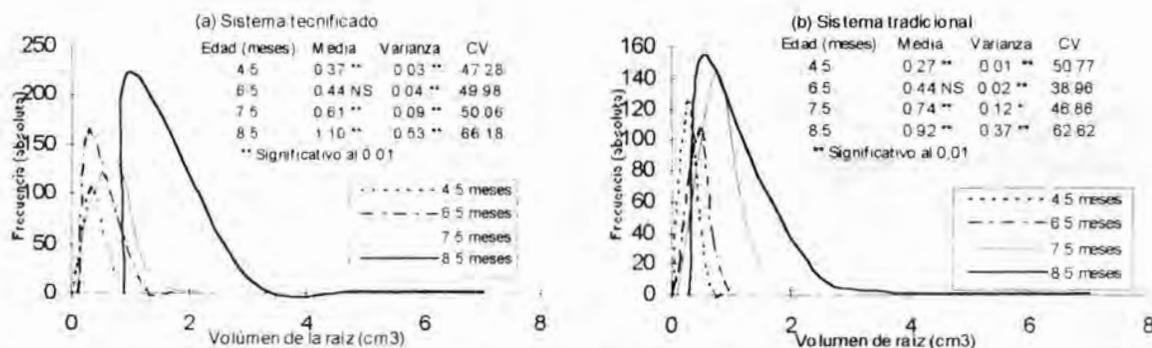


Figura 5. Distribución de frecuencias del volumen de raíz de un lote de *Pinus greggii*, durante 8.5 meses de crecimiento en dos sistemas de producción en vivero.

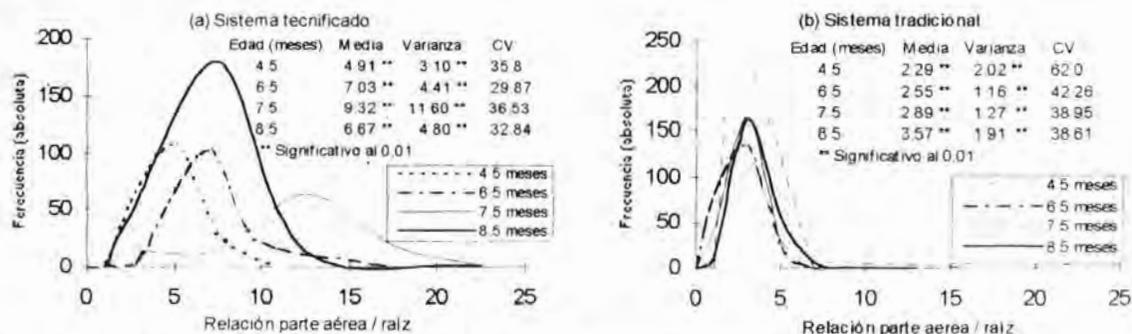


Figura 6. Distribución de frecuencias de la parte aérea/raíz de la planta en un lote de *Pinus greggii* Engelm., durante 8.5 meses de crecimiento en dos sistemas de producción en vivero.

May (1984) menciona que un lote de plántulas de calidad tiene una parte aérea relativamente pequeña y un sistema radical grande y fibroso; donde el balance entre la parte aérea y las raíces es de importancia en la supervivencia de las plántulas debido a que una mayor parte aérea genera una demanda de transpiración mayor que la capacidad de absorción de agua de la raíz. Thompson (1985) por otro lado, recomienda que en general el valor del cociente parte/aérea raíz no sea mayor a 2.5, especialmente cuando la planta este destinada para sitios con problemas de disponibilidad de agua. En el Cuadro 1 se resume las características morfológicas a los

8.5 meses de edad de las plantas producidas en los dos sistemas caracterizados, en función de los parámetros evaluados. Como se observa, los lotes de plantas difieren entre sí en las características morfológicas evaluadas. Además, el coeficiente de variación fue mayor que 20 % en la mayoría de las variables evaluadas en los dos sistemas, lo cual indica problemas de heterogeneidad en los lotes producidos. Es evidente que los dos sistemas de producción tienen problemas de control de calidad, lo que podría repercutir en un pobre desempeño de las plantas al establecerse en campo, pues sólo un reducido porcentaje de ellas reúne las características morfológicas de calidad.

Cuadro 1. Valores promedio y coeficientes de variación de las características morfológicas a los 8.5 meses de edad en plantas de *Pinus greggii*, obtenidas con dos sistemas de producción de planta en el vivero Santa Lucía Méx.

Característica morfológica	Valores promedio		Coeficientes de variación	
	Tecnificado	Tradicional	Tecnificado	Tradicional
Altura de la planta (cm)	27.58	10.94	16.06	28.66
Diámetro del tallo (cm)	2.51	1.71	18.35	30.54
Número de ramas	0.37	2.11	276.89	101.20
Volumen de la raíz (cm ³)	1.10	0.92	66.18	62.62
Peso seco total (g)	1.67	0.71	34.47	72.67
Relación parte aérea/raíz	6.67	3.57	32.84	38.61

CONCLUSIONES

Los sistemas de producción de planta utilizados actualmente en el Vivero Santa Lucía producen plantas de *Pinus greggii* con diferentes características morfológicas entre sí. Hasta este momento, las prácticas culturales utilizadas en el sistema tecnificado favorecen más el desarrollo de la parte aérea que el de la raíz en comparación con el sistema tradicional. Por tal motivo en el sistema tecnificado se obtienen plantas con mayor altura, mayor diámetro, mayor cantidad de follaje, mayor peso seco total y mayor relación parte aérea/raíz. A pesar de ello las plantas del sistema tradicional desarrollaron un mayor número de ramas.

El sistema de producción de planta también influyó en la homogeneidad del lote de plantas producido. En general, a los 8.5 meses de edad, el lote producido en el sistema tecnificado tuvo un menor coeficiente de variación en las características de altura, diámetro, longitud de raíz, número

de raíces laterales primarias y peso seco total. En cambio, el lote producido con el sistema tradicional fue más homogéneo en el número de ramas y volumen de raíz; en la relación parte aérea/raíz, el coeficiente de variación fue similar en los dos sistemas de producción. A pesar de lo anterior, dentro de cada sistema de producción el coeficiente de variación fue mayor del 20% en la mayoría de las características evaluadas, lo cual indica que existe un nivel de heterogeneidad relativamente elevado dentro de ambos sistemas, por lo que es necesario desarrollar prácticas de manejo que permitan aumentar la homogeneidad de las plantas producidas en cada sistema. A pesar de que en el sistema tradicional el valor promedio de la relación parte aérea/raíz fue 46% menor que en el sistema tecnificado, sólo un 10% del lote presentó un valor menor de 2.0. Debido a lo anterior en este sistema también es necesario implementar prácticas de cultivo que promuevan un mejor equilibrio en el desarrollo de la parte aérea y de la raíz.

REFERENCIAS

- Brissette J.C. and W.C. Carlson. 1987. Effects of nursery density on shortleaf pine. *In: Meeting the Challenge of the nineties, Proc., Intermountain For. Nur. Assoc. Oklahoma City, Oklahoma, Aug. 10-14, pp: 36-41.*
- Canell, M.G.R., F.E., Bridgewater and M.S Greenwood. 1978. Seedling growth rates, water stress responses and root-shoot relationships related to eight year volumes among families of *Pinus taeda* L. *Silvae Genet.* 27:237-248.
- Cano P., A. 1998. Tamaño y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm en dos sistemas de producción en vivero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados Montecillo, Edo. de México. 80 p.
- Donald, C.M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17: 385-403.
- Duryea, M.L. Y Landis, T.D. 1984. Forest Nursery Manual: production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory, Oregon State University. 385 p.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos del género *Pinus* en México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx., pp: 438-446.
- González V., C. E. 1978. Breve análisis de la investigación sobre plantaciones forestales de la Dirección General de Investigación y Capacitación Forestales INIFAP publicación especial No. 13. pp: 83-87.
- Jaikanen, A., Rikala R and H. Smolander, 1992. Variability of morphological characteristics in bareroot *Pinus silvestris* nursery stock. *Scand. J. For. Res.* 7: 83-97.
- Jonhson, J.D. and M.L. CLINE. 1991. Seedling quality of southern pines. *In: Duryea M.L. y P.M. Dougherty (eds.) Forest Regeneration Manual.* Kluwer Academic Publishers. pp: 143-159.
- Lanner, R.M. 1976. Patterns of shoot development in *Pinus* and their relationship to growth potential. *In: Canell, M.G.R. y F.T. Last (eds.) Tree Physiology and yield improvement.* Academic Press, New York, USA. pp: 223-243.
- May, J.T. 1984. Seedling quality, grading, culling and counting. *In: Southern Pine Nursery Handbook.* USDA Forest Service. pp:9-10.
- Mexal, J.G. and T.D. Landis. 1990. Target seedling concepts, height and diameter. *In: Rose, R., S.J. Campbell y T.D. Landis (eds.) Target seedling Symposium: proceedings, combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations.* General Report R.M.-200 pp:17-36.
- Räsänen, P. and S. Kaila. 1980. Size classification for Scott pine and Norway spruce planting stock. University of Helsinki, Department of Silviculture, Research Note 53. 40 p.
- SAS. 1985. SAS user's guide: Basics, version 5. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA 1290 p.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1985. *Bioestadística: principios y procedimientos.* 2da. Ed. McGraw-Hill. Bogotá, Colombia.
- Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation-what can tell by looking. *In: Duryea, M.L. (ed.) Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests.* For. Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA. pp 59-71.
- Timmis, R. and Y. Tanaka. 1976. Effects of container density and plant water stress on growth and cold hardiness of Douglas-fir seedlings. *For. Sci.* 22: 167-172.
- Van Den Driessche, R. 1982. Relationships between spacing and nitrogen fertilization of seedlings in the nursery: seedling size and outplanting performance. *Can. J. For. Res.* 12:865-875.

ENRAIZADO DE ESTACAS JUVENILES EN CINCO ESPECIES DE CONÍFERAS ORNAMENTALES: EFECTO DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO AIB Y DE LA TEMPERATURA

José Justo Mateo Sánchez¹, J. Jesús Vargas Hernández¹,
Ma. Cristina López Peralta², Jesús Jasso Mata¹.

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el efecto de diferentes dosis de Acido Indolbutírico AIB y de la temperatura del sustrato sobre el enraizado de estacas juveniles de cinco especies de Cupresáceas (Junipero, *Juniperus horizontalis*; ciprés, *Cupressus sempervirens*; cedro limón, *Cupressus macrocarpa*; thuja, *Thuja orientalis*; y falso ciprés, *Chamaecyparis lawsoniana*), en marzo de 1997 se estableció un ensayo empleando dos condiciones de sustrato (con y sin calefacción) y cinco niveles de AIB (0, 5,000, 10,000 y 20,000 ppm en solución líquida, y 10,000 ppm en polvo comercial). A los tres meses todas las especies presentaron enraizamiento con porcentajes globales que variaron de 11.2% en thuja hasta 42.5% en falso Ciprés; las otras especies (junipero, ciprés, cedro limón) presentaron valores de 27.5, 20.1, y 27.3%, respectivamente. El análisis de varianza mostró efectos significativos ($p \leq 0.05$) de los dos factores evaluados (dosis de AIB y temperatura del sustrato) sobre la formación de callo y de raíces en las estacas de todas las especies. En la mayoría de las especies la dosis óptima para la formación de callo y raíces fluctuó entre 10,000 y 20,000 ppm de AIB en solución líquida. En tres de las especies (junipero, ciprés y cedro limón) el aumento de la temperatura en el sustrato influyó en forma negativa en la formación de callos y raíces, lográndose mejores resultados en la cama sin calefacción; sin embargo, en las otras dos especies el aumento en temperatura si estimuló la formación de raíces. En todas las especies la aparición de callos y raíces ocurrió preferentemente en las heridas hechas a lo largo de las estaquillas al establecer el ensayo.

Palabras clave: Acido indolbutírico, enraizado, *Juniperus horizontalis*, *Cupressus sempervirens*, *Cupressus macrocarpa*, *Thuja orientalis*, *Chamaecyparis lawsoniana*

ABSTRACT

A greenhouse experimental on march 1997, to evaluate five different concentrations of IBA in solution (0, 5000, 10000 and 20,000 ppm) and 10,000 ppm of Brand trade Radix F-10,000 and two levels of soil temperature (heated and unheated) over the rooting of five species from Cupresaceae family: *Juniperus horizontalis*, *Cupressus sempervirens*, *Cupressus macrocarpa*, *Thuja orientalis* and *Chamaecyparis lawsoniana*. Results showed that callous and roots emission began before cuttings were 60 days old, and after 90 days all species showed rooting percentages that ranged from 11.2% (*Thuja orientalis*) to 42.5% (*Chamaecyparis lawsoniana*). *Juniperus horizontalis*, *Cupressus sempervirens* and *Cupressus macrocarpa* showed 27.5, 20.1 and 27.3% of rooting, respectively. The statistical analysis (ANOVA) showed significant effects ($p \leq 0.05$) for both factors analyzed (IBA concentrations and temperature) over callous and roots emission of cuttings from all species. Optimal IBA solution concentrations to induce callous and roots emission were 10,000 and 20,000 ppm. High soil temperature had negative effect over callous and roots emission in *Juniperus horizontalis*, *Cupressus sempervirens* and *Cupressus macrocarpa*, while positive effects were shown in unheated soil. However, in *Thuja orientalis* and *Chamaecyparis lawsoniana* high temperature showed increments on callous and roots emission. In all species the callous and roots emission were better obtained over longitudinal injuries of cuttings that were done at the beginning of the assay; the procedure had a great effect over rooting capacity in these coniferous species.

Key words: indolbutiric acid, roots, *Juniperus horizontalis*, *Cupressus sempervirens*, *Cupressus macrocarpa*, *Thuja orientalis*, *Chamaecyparis lawsoniana*

INTRODUCCIÓN

La propagación vegetativa de las plantas por medio del enraizado de estacas o esquejes se basa en la aptitud que tienen algunos órganos para formar raíces adventicias. Este método trasmite fielmente a los nuevos individuos las características de la planta madre, cualidades y defectos (Iglesia, 1992). En los últimos 20 años se han realizado diversos trabajos orientados a encontrar métodos y técnicas que permitan propagar

una mayor cantidad de especies forestales por medios vegetativos, o que reproduzcan individuos de alto valor genético, económico o con fines ornamentales (Prieto, 1992). La limitante principal de la propagación vegetativa de especies leñosas ha sido el bajo porcentaje de multiplicación, ya que solo unas cuantas especies arbóreas se reproducen fácilmente por métodos vegetativos como el caso de los géneros *Populus*, *Salix*, *Platanus*, *Tamarix* y *Ficus*, entre otros.

¹Especialidad Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados. Correo-e: jmateo@colpos.colpos.mx

²Especialidad de Genética, IREGEP, Colegio de Postgraduados.

Existe una gran cantidad de especies de un alto valor ornamental dentro de las coníferas; sin embargo, su uso extensivo está limitado por los altos costos que alcanzan comercialmente, a consecuencia de las dificultades de propagación vegetativa. A pesar de que la formación espontánea de raíces adventicias es una característica peculiar de la mayoría de especies tropicales de Angiospermas, esto no ocurre en las especies de Gimnospermas, clase a la cual pertenecen las coníferas. Esta situación plantea la necesidad de generar mayor información sobre los factores que determinan la capacidad de enraizado de especies de coníferas con valor ornamental.

Uno de los principales factores que influyen sobre la capacidad de formación de raíces adventicias es la aplicación de sustancias enraizadoras en la base de las estacas, las cuales además de promover la formación de las raíces, incrementan el número y la calidad de las mismas (MacDonald, 1986). Una de las sustancias químicas utilizadas inicialmente en el enraizado de estacas de madera dura fue el permanganato de potasio, obteniendo algún éxito en especies leñosas pero sin lograr uniformidad en la velocidad de enraizado (Hartmann y Kester, 1990).

ANTECEDENTES

Los ácidos 2-4 diclorofenoxiacético (2, 4-D) y 2, 4, 5 triclofenoxiacético (2, 4, 5-T) se han usado en el enraizamiento de estacas, mostrando una potente actividad de promoción de raíces; sin embargo, estas sustancias son rápidamente trasladadas a través de las estacas y pueden retrasar la apertura del brote apical e inducir otros efectos adversos que repercuten en bajos porcentajes de enraizamiento (Dirr y Heuser, 1987). Debido a lo anterior, las auxinas son el grupo de sustancias químicas con mayor eficacia en la formación de raíces adventicias en estacas leñosas y semileñosas; dentro de las auxinas, el ácido indolbutírico (AIB) es el que mejores resultados ha generado, recomendándose su aplicación en dosis de 5,000 a 15,000 ppm en especies leñosas de difícil enraizamiento (MacDonald, 1986). En estas concentraciones y para este grupo de especies se recomienda la inmersión rápida, que consiste en sumergir la base de la estacilla de unos segundos hasta tres minutos (Iglesia, 1992). Por ejemplo, en el híbrido *x Cupressocyparis leylandii* se

utilizaron diferentes sustancias incluyendo AIB en varias concentraciones con el propósito de estimular la formación de raíces adventicias, logrando los mejores resultados con una dosis de 3,000 ppm de AIB (Hartmann y Kester 1990).

La temperatura del sustrato es otro factor determinante sobre la capacidad de enraizamiento de especies leñosas que para que se presente de manera óptima en estas especies, generalmente se requiere una temperatura de 20 a 25°C en el sustrato, por lo que en algunos casos es necesario elevar su temperatura por medio de calentamiento basal (Loach, 1988), permitiendo que la emisión de raíces ocurra casi al mismo tiempo que el desarrollo de los brotes y evitando el marchitamiento prematuro de las estaquillas. En este caso, las estacas previamente tratadas con reguladores de crecimiento se colocan en las camas de enraizamiento en cuyo fondo se instaló una resistencia termoeléctrica o un sistema de tuberías por las que circula agua caliente (Iglesia, 1992). Velarde (1989) recomienda una diferencia de temperatura de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ en la temperatura del sustrato (calor de fondo), por encima de la temperatura atmosférica para favorecer la actividad de los tejidos que darán origen a las raíces adventicias, la cual es particularmente útil en estaquillas provistas de hojas y en especies de difícil enraizamiento (Rodríguez, 1988).

Cooper (1977) comparó la aplicación continua de calor basal, únicamente durante el día, sobre el enraizamiento de estacas de *Juniperus communis*, encontrando una mayor velocidad de producción de raíces, aunque el porcentaje final de enraizamiento fue similar en ambos. En algunos casos, el efecto de la temperatura basal depende del tratamiento hormonal empleado. Loach (1988) encontró que las estacas de *Chamaecyparis lawsoniana* y de *Ch. pisifera* fueron indiferentes a la temperatura basal (15, 20 y 25°C) cuando las estacas fueron tratadas con auxinas; sin embargo, las estacas no tratadas respondieron positivamente al aumento en la temperatura del sustrato. A pesar de lo anterior, en algunos estudios se ha generado controversia sobre los beneficios de la temperatura basal en estacas leñosas y semileñosas de especies perennifolias. Por ejemplo, Kelly y Lamb (1979) obtuvieron bajos porcentajes de enraizamiento en seis especies de coníferas

en condiciones de invernadero; en esas condiciones los mejores porcentajes se lograron cuando no se aplicó calor basal. Con base en lo anterior, se propuso evaluar el efecto de diferentes dosis de AIB y temperaturas de la cama de enraizamiento, en la capacidad de enraizado de estacas juveniles de cinco especies de coníferas de importancia ornamental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del experimento

El ensayo se realizó en el invernadero de la Especialidad Forestal del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México. El invernadero se acondicionó para proporcionar mejores condiciones ambientales a las estaquillas, a fin de lograr la emisión de raíces adventicias de la mayor calidad posible en el menor tiempo. En el ensayo se utilizaron cinco especies de la familia Cupresaceae (*Juniperus horizontalis* L., *Cupressus sempervirens* L., *Cupressus macrocarpa* Hartw., *Thuja orientalis* L., y *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr) Parl.). Las especies fueron seleccionadas por su importancia ornamental y su demanda en los viveros comerciales para ser plantadas con estos fines. Todas las especies anteriores son consideradas de difícil enraizamiento (Hartmann y Kester, 1990). Los árboles de los cuales se cortaron las estacas de las cinco especies fueron seleccionados con base en sus características fenotípicas (conformación), su velocidad de crecimiento (vigor) y su excelente condición fitosanitaria; en la mayoría de las especies se utilizaron plantas madres menores de tres años.

Se contempló el uso de soluciones de ácido indolbutírico (AIB) con diferentes concentraciones (0, 5,000, 10,000 y 20,000 ppm), así como de un producto comercial en polvo (Radix F-10,000), con una concentración de 10,000 ppm de AIB para promover la formación de raíces adventicias en las estacas. El AIB en solución líquida se aplicó por inmersión rápida por espacio de minuto para todas las especies. El Radix F-10,000 se empleó por contacto rápido en las estacas previamente remojadas y escurridas para una mejor impregnación.

Proponiendo la evaluación del efecto de la temperatura del sustrato sobre la capacidad de la generación de raíces, se utilizaron dos camas de enraizamiento con dimensiones similares (2.70m de largo X 1.2 m de ancho y

0.27m de alto). En una se colocó un sistema de resistencias con un termostato para mantener una temperatura de 20 a 25°C, con una diferencia de al menos 10°C con respecto a la otra cama, que se mantuvo a temperatura ambiental en el sustrato (entre 10 y 15 °C). El sistema de resistencias se mantuvo funcionando solo durante las tres primeras semanas posteriores a la fecha de estaquillado.

El sustrato utilizado fue una mezcla de tierra de monte y agrolita en proporción de 1:1 (volumen). Una semana antes del establecimiento del ensayo se cribó la tierra de monte con una malla de alambre cuadrada de cuatro mm por lado para eliminar impurezas y las partículas de mayor tamaño, desinfectando la tierra con bromuro de metilo. Para mantener una alta humedad relativa en el ambiente, se construyó un microinvernadero dentro del invernadero existente, y se colocó un humidificador diseñado para un volumen de 20 m³ en medio de las dos camas de enraizamiento, lo que mantuvo una humedad relativa superior al 90% a lo largo del ensayo.

La longitud de las estaquillas varió de diez a quince cm entre especies, aunque se trató de que fueran de tamaño uniforme dentro de cada una y sin presencia de enfermedades u otros daños visibles. El material se tomó de las ramas laterales localizadas en los dos tercios inferiores de las plantas madre. En la base de la estaquilla se efectuó un corte diagonal, en cuyos primeros cinco cm del tallo a partir del extremo basal se eliminó el follaje y se aplicaron dos cortes longitudinales (heridas) a la profundidad del cambium y xilema, con la finalidad de facilitar una mayor absorción de los enraizadores aplicados y promover una mayor formación de callo y raíces. Posteriormente, las estaquillas fueron lavadas en agua corriente y sumergidas totalmente en una solución de Captan al 5% por un tiempo aproximado de 30 minutos, y se dejaron escurrir por cinco minutos, antes de aplicarles el AIB.

Posterior a la aplicación del AIB las estaquillas se colocaron en las camas con un espaciado de 4.1 x 4.5 cm. Al introducir las estacas se apisonó levemente el sustrato con los dedos para eliminar las bolsas de aire. Finalizado el estacado se dio un riego fino para asentar el sustrato y lograr un mejor contacto de la estaquilla. Para cada especie fue necesario utilizar un

dia completo, por lo que se requirió de cinco días hábiles no continuos; la primera especie se estableció el 11 de marzo y la última el 18 de marzo de 1997.

Diseño experimental y variables evaluadas

Se realizaron ensayos independientes por especie utilizando un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 5x2 para un total de diez tratamientos. Como se mencionó anteriormente; el primer factor estuvo constituido por los cinco niveles de AIB. El segundo factor se determinó por las condiciones de la cama de enraizamiento (sin y con calefacción). Se utilizó un total de cuatro repeticiones por tratamiento donde cada unidad experimental (parcela) contó con 16 estaquillas generando 40 parcelas y 640 estaquillas por especie. Dos meses después de establecido el experimento, se efectuó el primer muestreo, extrayendo una estaquilla de cada parcela para conocer los avances en la formación de callo y raíces. Subsecuentemente, se muestreo cada quincena por tres meses realizando la evaluación final y extrayendo todas las estaquillas remanentes de cada parcela. En cada estaquilla extraída se determinó la presencia de callo (número y posición) y de raíces (número, longitud promedio, y posición). Con los datos se calculó el porcentaje de estaquillas con callo y con raíces por parcela así como el número promedio de callo y raíces formadas por estaca y la longitud media de las raíces. Con los promedios por parcela para cada variable se realizó un análisis de varianza de acuerdo al modelo estadístico descrito; los porcentajes fueron transformados con la función arcoseno antes del análisis estadístico. En aquellas variables donde se encontraron diferencias significativas en alguno de los factores considerados en el ensayo, se compararon las medias utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para las variables de posición de callo y de raíz no se realizó análisis de varianza considerando únicamente el porcentaje de estacas que

formaron callo o raíz en cada una de las posiciones consideradas, incluyendo base, heridas y cuello de la estaquilla en forma única o combinada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Velocidad de formación de callo y raíces

Partiendo del primer muestreo a los 60 días se apreció la formación de callo y raíces en todas las especies evaluadas, excepto thuja. En esa fecha la especie con mayor porcentaje de estacas con callo fue el falso ciprés con 50%, seguido de cedro limón con 27.5%, mientras que el ciprés y el junípero solo tenían 15 y 10% respectivamente. El porcentaje de estacas enraizadas correspondió al falso ciprés con 32%, seguido del cedro limón con 15%, en tanto junípero y ciprés solo tenía 12.5 y 5% respectivamente (Cuadro 1). Estas diferencias entre las especies en la formación de callo y de raíces se mantuvieron sin muchos cambios en el muestreo realizado a los 75 días, ya que tanto el falso ciprés como la thuja mantuvieron los porcentajes extremos de formación de callo, con 35 y 10%, respectivamente. De igual manera, el falso ciprés y el ciprés mantuvieron los porcentajes extremos de estacas enraizadas, con 37.5 y 5% respectivamente. La thuja mostró en este segundo muestreo un ligero avance al llegar al 12.5% de estacas con raíces, mientras que las otras especies presentaron valores intermedios.

A los 90 días se observó un incremento notorio en el porcentaje de estacas con callo en todas las especies hasta valores mayores de 50% en cada una de ellas y de acuerdo a los muestreos anteriores, el falso Ciprés y el Cedro limón mantuvieron los mayores porcentajes de formación de callo de todas las especies. Asimismo, con excepción de la thuja, todas las especies presentaron porcentajes globales de enraizado mayores de 20%. Al igual que en la formación de callo en el último muestreo el falso ciprés y el cedro limón mantuvieron los mayores porcentajes de formación de raíz de todas las especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de estacas con formación de callo y de raíz en diferentes fechas de muestreo en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Porcentaje de estacas con callo (%)		Porcentaje de estacas con raíz (%)			
	60 días	75 días	90 días	60 días	75 días	90 días
Junípero	10.0	20.0	62.4	12.5	10.0	25.75
Ciprés	15.0	12.5	52.0	5.0	5.0	20.13
Cedro limón	27.5	27.5	77.8	15.0	27.5	27.29
Thuja	0.0	10.0	52.3	0.0	12.5	11.25
Falso Ciprés	50.0	35.0	88.5	32.0	37.5	42.48

Los datos muestran que a pesar de que se trata de especies de la misma familia (Cupresaceae), existen diferencias notorias entre ellas en la velocidad y capacidad de formación de callo. De acuerdo con Haissig (1974), la formación de callo en estacas de especies leñosas es una condición necesaria para la producción de raíces adventicias, debido a que ahí se forma la mayor parte de las células que pueden diferenciarse para originar las raíces adventicias. De igual forma, existen diferencias notorias entre estas especies en la velocidad y capacidad de formación de raíz. Sin embargo, es posible que las diferencias entre las especies en la capacidad de enraizado se deban en parte a las diferencias por el grado juvenil del material empleado en el estudio. Por ejemplo, el menor porcentaje de enraizado en thuja puede estar relacionado con que el material de la especie era el menos juvenil (Mateo, 1997). De cualquier manera, es importante resaltar que existen pocas experiencias publicadas sobre la capacidad de enraizamiento de especies de Cupresáceas. En la mayoría de los estudios se han obtenido porcentajes de enraizamiento relativamente bajos, incluso menores del 5% (Prieto, 1992).

EFFECTO DEL AIB Y LA TEMPERATURA

Porcentaje de estacas con raíz

El análisis de varianza mostró efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$) de los dos factores evaluados (dosis de AIB y temperatura) sobre el porcentaje de formación de raíz en todas las especies incluidas en el ensayo. Sin embargo, la interacción entre los dos factores anteriores sólo fue significativo ($p \leq 0.05$) en dos de las especies (ciprés y cedro limón) pero no en las otras tres. Esto implica que el efecto de un factor fue independiente del otro factor. En promedio de todos los tratamientos, el falso ciprés presentó el mayor porcentaje de estacas con formación de raíz con 42.5%, seguido de cedro limón y junípero con 27.3 y 25.8%, respectivamente (Cuadro 2).

La aplicación de AIB influyó favorablemente sobre el porcentaje de estacas que formaron raíz en todas las especies, aunque en diferentes grados para cada una. En promedio, el mayor porcentaje de formación de raíz se logró cuando se utilizó una dosis de 10 mil ppm de AIB (39.5%), seguida por las dosis de 20 mil y de 5 mil ppm, con

valores de 35.6 y 27.7%, respectivamente. El uso del producto Radix F-10,000, que tiene una dosis similar de AIB en polvo, a diferencia de lo anterior, estimuló de manera modesta la formación de raíz con respecto al testigo, con un porcentaje menor a la mitad de lo observado con la misma dosis de AIB en solución líquida; en algunas especies, inclusive inhibió la formación de raíces con respecto al testigo, como el caso de junípero y ciprés (Cuadro 3).

Los resultados obtenidos concuerdan con los datos obtenidos por Dirr y Heuser (1987) en especies leñosas maderables. Ellos aseguran que en especies de difícil enraizamiento lo más recomendable es utilizar soluciones líquidas de AIB en concentraciones de cinco a diez mil ppm. Rosas *et al.* (1994), en un ensayo de propagación vegetativa con el híbrido *X Cupressocyparis leylandii*, obtuvieron buenos resultados al emplear soluciones líquidas de diez mil ppm de AIB. Prasad *et al.* (1996) coincidieron que soluciones líquidas de AIB fueron más efectivas que concentraciones similares de AIB en polvo para promover el enraizamiento de estacas de *Eucalyptus tereticornis*. Ellos atribuyeron la mayor efectividad de las soluciones líquidas al hecho de que éstas se difunden más fácilmente al interior de las estacas a partir de las zonas de corte o heridas realizadas superficialmente, y que hay una distribución más uniforme en toda la región de formación de raíces. Estos datos apoyan los pobres resultados que se obtuvieron con el Radix F-10,000 en la mayoría de las especies utilizadas en nuestro ensayo, con excepción del Cedro limón, en donde no hubo diferencias entre la solución líquida y la presentación en polvo del AIB a diez mil ppm.

El aumento de la temperatura en el substrato también influyó en el porcentaje de estacas que formaron raíz, aunque esta influencia fue negativa en la mayoría de las especies evaluadas (Cuadro 4). En el promedio de todas las especies, el porcentaje de estacas con raíz en la cama sin temperatura fue de 28.7%, mientras que en la cama con temperatura, este porcentaje se redujo hasta 22.0%. Sin embargo, este comportamiento no fue similar en todas las especies; mientras que en ciprés y junípero el aumento en temperatura redujo la formación de raíz de manera drástica, hasta una décima (de 37.3% a 3%) y quinta (de 42.5% a 9%) parte, respectivamente; en el

Cuadro 2. Análisis de varianza del porcentaje de estacas que formaron raíces, en cinco especies de Cupresáceas

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios y significancia				
		Junípero	Ciprés	Cedro limón	Thuja	falso Ciprés
AIB (E)	4	0.4336**	0.5546**	0.1691**	0.4665**	1.0119**
Temp. (T)	1	2.0686**	2.5754**	0.3570**	0.1518**	3.5996**
Int. (E x T)	4	0.0126 ns	0.3150**	0.0933*	0.0322 ns	0.0766 ns
Error	30	0.0327	0.0294	0.0276	0.0175	0.0668

** significativo con $p \leq 0.01$; * significativo con $p \leq 0.05$; ns no significativo.

Cuadro 3. influencia de los reguladores de crecimiento sobre el porcentaje de estacas que formaron raíz en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Testigo	Porcentaje de estacas con raíz (%)				Promedio
		AIB-5000	AIB-10000	AIB-20000	RadixF-10000	
Junípero	13.8 b	28.8 a	37.5 a	41.2 a	7.5 b	25.8
Ciprés	5.0 c	28.8 ab	45.0 a	21.9 b	0.0 c	20.1
Cedro limón	11.3 b	25.0 ab	35.2 a	26.3 ab	38.8 a	27.3
Thuja	0.0 c	12.5 b	28.8 a	15.0 ab	0.0 c	11.3
Falso ciprés	5.0 c	43.8 b	51.3 ab	73.8 a	38.7 b	42.5
Promedio	7.0	27.7	39.5	35.6	16.9	

Nota: Valores promedio en una línea seguidos de la misma letra no son estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre sí.

Cuadro 4. Influencia de la temperatura del sustrato sobre el porcentaje de estacas que formaron raíz en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Porcentaje de estacas con raíz (%)	
	Sin elevación de	Con elevación de
Junípero	42.5 a	9.0 b
Ciprés	37.3 a	3.0 b
Cedro limón	36.2 a	13.4 b
Thuja	7.0 b	15.5 a
Falso ciprés	20.6 b	64.4 a
Promedio	28.7	22.0

Nota: Valores promedio en una línea seguidos de la misma letra no son estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre sí.

cedro limón la reducción fue de un poco más de la mitad (de 36.2% a 13.4%). Por otro lado, en thuja y falso ciprés el aumento en temperatura sí estimuló la formación de raíces en más de dos y tres veces respectivamente (Cuadro 4).

El efecto inhibitorio de la temperatura en tres especies parece contradictorio a lo que señala en la literatura. Por ejemplo, Velarde (1989) sostiene que un aumento de más de 10°C en la temperatura del sustrato con respecto a la del ambiente promueve el enraizado en las estacas leñosas de especies forestales. Kormanik y Brown (1974) hacen hincapié en que la temperatura del medio de enraizamiento más adecuada es entre los 20 y 28°C, ya que favorece la actividad de los tejidos que deben emitir raíces. Es posible que este efecto inhibitorio sobre la respuesta de tres de las especies se asocie con la duración del periodo en que se

mantuvo una temperatura elevada. Debido a la forma y tiempo requerido para establecer el ensayo, las primeras especies estuvieron expuestas a altas temperaturas del sustrato durante tres semanas, mientras que las últimas dos especies (thuja y falso ciprés) sólo estuvieron expuestas a estas condiciones durante dos semanas. Hartmann y Kester (1990) explican que el periodo de iniciación durante el cual se forman los meristemas de la raíz en las estacas durante el enraizamiento, puede dividirse en dos etapas: a) una que se activa con auxinas y b) una donde las auxinas son inactivas. Cada una de estas etapas dura unos cuatro días y es cuando se debe dar a la estaca las mejores condiciones ambientales, lo que sugiere que el estímulo de temperatura en el sustrato se aplique durante este periodo crítico (ocho días). Esta interacción está apoyada por Iglesia (1992), quien explica que

el calor en el substrato es benéfico en especies perennifolias solo durante los primeros días en que se forman los primordios radicales de las estacas. Sin embargo, para comprobar el posible efecto de la duración de la estimulación con altas temperaturas sobre la formación de callo y raíces, es necesario establecer un nuevo experimento en donde se aplique el estímulo de temperatura en el substrato en periodos de diferente longitud en cada una de las especies.

Número promedio de raíces formadas por estaca

El análisis de varianza mostró que en la mayoría de las especies ningún factor individual o combinadamente influyeron significativamente sobre la cantidad de raíces formadas por estaca (Cuadro 5). El falso ciprés tuvo un comportamiento completamente diferente a las otras especies, ya que en ésta el número de raíces formadas por estaquilla si fue afectado en forma significativa por los dos factores anteriores: en forma independiente. La temperatura también tuvo un efecto significativo sobre esta variable en la thuja, pero no en las otras especies. Por otro lado, con excepción del junipero, la interacción entre la dosis del enraizador y la temperatura del substrato no fue significativa en especie alguna (Cuadro 5).

La especie que desarrolló la mayor cantidad

de raíces por estaca fue el falso ciprés, con un promedio de 5.2 raíces, seguida por el junipero con 3.8 raíces por estaca. La thuja y el ciprés presentaron los menores valores promedio, con 2.1 y 1.8 raíces por estaca, respectivamente. Pese a que en la mayoría de las especies no hubo diferencias significativas por efecto de la dosis de AIB, en promedio; de todas ellas, la dosis de 20,000 ppm de AIB presentó el mayor número de raíces por estaca, con un valor promedio de 4.40. De hecho, se observa una tendencia general a aumentar las raíces formadas por estaca conforme aumenta la dosis de AIB empleada con respecto al testigo, que solo tuvo un promedio de 1.1 raíces por estaca. A diferencia del efecto de las soluciones líquidas de AIB, el empleo del producto Radix F-10,000 solo estimuló ligeramente la cantidad de raíces formadas en el promedio de todas las especies, al presentar un promedio de 2.2 raíces por estaca (Cuadro 6). De manera contraria a lo ocurrido con el porcentaje de estacas que formaron raíz, el aumento de temperatura en el substrato incrementó la cantidad de raíces formadas por estaca en el promedio de todas las especies, al presentar 3.7 raíces por estaca en comparación con el promedio de 2.5 en la cama sin calefacción. Este efecto positivo de la temperatura fue mas notorio en thuja y falso ciprés, donde se observaron aumentos de más del 50 y 100% respectivamente (de 1.6 a 2.5 y de 3.1 a 6.7 raíces por estaca) (Cuadro 7).

Cuadro 5. Análisis de varianza del número promedio de raíces formadas por estaca, en cinco especies de Cupresáceas a los 3 meses de establecido el ensayo

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios y significancia				
		Junipero	Ciprés	Cedro limón	Thuja	Falso ciprés
AIB (E)	4	13.3794 ns	0.3887 ns	2.6790*	0.1944 ns	59.0636**
Temp. (T)	1	0.1719 ns	0.2567 ns	0.4550 ns	4.3728**	104.3974**
Int. (E x T)	4	28.4975 *	0.1410 ns	0.3823 ns	1.5654 ns	19.8781 ns
Error	21	6.0469	0.2987	0.7405	0.5114	8.2476

** significativo con $p \leq 0.01$; * significativo con $p \leq 0.05$; ns no significativo.

Cuadro 6. Efecto de la concentración y de AIB sobre el número promedio de raíces formadas por estaquilla en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Tipo de enraizador					Promedio
	testigo	AIB-5,000	AIB-10,000	AIB-20,000	Radix F-10000	
Junipero	1.43 a	3.71 a	3.73 a	5.42 a	1.88 a	3.8
Ciprés	1.33 a	1.65 a	2.10 a	1.71 a	0.00 a	1.8
Cedro limón	1.72 b	1.86 b	2.01 ab	2.86 a	3.06 a	2.3
Thuja	0.00 a	1.90 a	2.16 a	2.09 a	0.00 a	2.1
Falso ciprés	1.00 c	2.99 c	4.98 b	8.42 a	6.01 ab	5.2
Promedio	1.10	2.50	3.07	4.40	2.20	

Nota: Valores promedio en una línea seguidos de la misma letra no son estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre si.

Cuadro 7. Efecto de la temperatura en el sustrato sobre el número de raíces formadas por estacilla en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Número de raíces/estacilla	
	Sin temperatura	Con temperatura
Junípero	3.7 a	3.9 a
Ciprés	1.8 a	1.5 a
Cedro limón	2.4 a	2.2 a
Thuja	1.6 b	2.5 a
Falso ciprés	3.1 b	6.7 a
Promedio	2.5	3.7

Nota: Valores promedio en una línea seguidos de la misma letra no son estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre sí.

Longitud promedio de las raíces

El análisis de varianza mostró que tanto la dosis del enraizador como la temperatura influyeron en forma significativa sobre la longitud promedio de las raíces formadas en la mayoría de las especies evaluadas. El junípero tuvo un comportamiento diferente, ya que la longitud de las raíces formadas no fue afectada en forma significativa por los dos factores anteriores de manera independiente, pero sí por la interacción de ambos. Por otro lado, con excepción del cedro limón y la thuja, la interacción entre la dosis del enraizador y la temperatura del sustrato también fue significativa en las otras dos especies; lo que indica que en estas el efecto de cada factor fue dependiente del nivel del otro (Cuadro 8).

El falso ciprés desarrolló la mayor longitud promedio de raíces con un promedio de 4.8 cm, seguida por la thuja con 3.9 cm. El junípero y el ciprés presentan los menores valores de longitud de raíces con 3.3 y 1.8 cm, respectivamente. La dosis de 20 mil ppm de AIB ocasionó el mayor crecimiento en longitud, con un valor de 4.59 cm. En promedio, en todas las especies, se observa un aumento de la longitud de las raíces conforme aumenta la dosis de AIB empleada con respecto al testigo, alcanzando una longitud promedio de 1.48 cm. Esta tendencia es más marcada en el falso ciprés que observa un aumento en la longitud de las

raíces de más de tres veces (de 2.10 a 7.02 cm) con respecto al testigo al emplear 20, mil ppm de AIB (Cuadro 9).

Similar a lo ocurrido con el número de raíces formadas por estaca, el aumento de temperatura en el sustrato incrementó la longitud de las raíces en promedio en todas las especies, al presentar 3.9 cm en la cama con calefacción, en comparación con 2.7 cm por estaca en la cama sin calefacción. Este efecto positivo fue notorio en el ciprés, falso ciprés, y la thuja, donde se observaron aumentos mayores del 100% en la longitud de las raíces, mientras que en las otras dos especies no se observaron diferencias significativas entre las dos condiciones de temperatura (Cuadro 10). Por otro lado, el efecto significativo de la interacción entre la dosis de enraizador y la temperatura del sustrato en tres especies, indica que el efecto de cada factor anterior sobre el crecimiento de las raíces formadas, es más complejo de lo descrito. Para el junípero y el ciprés, esta interacción se manifestó en el hecho de que la temperatura en el sustrato estimuló más el desarrollo de las raíces en dosis bajas de AIB (5,000 ppm) que en dosis elevadas, mientras que en el caso del falso ciprés fue al contrario; es decir, en esa especie la combinación de dosis elevadas de AIB con el aumento de temperatura en el sustrato fue más favorable para el crecimiento de las raíces. (Mateo, 1997).

Cuadro 8. Análisis de varianza de la longitud promedio de raíces formadas, en cinco especies de Cupresáceas

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios y significancia				
		Junípero	Ciprés	Cedro limón	Thuja	Falso Ciprés
AIB (E)	4	9.9298 ns	2.4194 ns	19.4905*	10.4842*	27.5216**
Temp. (T)	1	1.9932 ns	17.3860**	18.9322 ns	33.8126**	66.6223**
Int. (E x T)	4	29.6926**	13.2244**	5.9852 ns	2.0393 ns	6.6613*
Error	21	4.0133	0.9692	5.6488	2.8364	1.8705

** significativo con $p \leq 0.01$; * significativo con $p \leq 0.05$; ns no significativo.

Enraizado de estacas juveniles en cinco especies de coníferas ornamentales

Cuadro 9. Efecto de la concentración y tipo de enraizador sobre la longitud de las raíces formadas en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Longitud promedio de raíces (cm).					Promedio
	Testigo	AIB-5,000	AIB-10000	AIB-20000	RadixF10000	
Junípero	1.00 a	3.94 a	3.16 a	4.22 a	2.25 a	3.3
Ciprés	0.30 a	2.77 a	1.91 a	1.43 a	----- a	1.8
Cedro limón	2.31 bc	1.43 c	3.27 b	4.63 a	5.45 a	3.5
Thuja	----- c	2.24 b	4.41 a	4.44 a	----- c	3.9
Falso ciprés	2.10 c	3.38 bc	4.56 b	7.02 a	5.39 b	4.8
Promedio	1.48	2.76	3.59	4.59	2.61	

Nota: Valores promedio en una línea seguidas de la misma letra no son estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre sí.

Cuadro 10. Efecto de la temperatura en el sustrato sobre la longitud de las raíces formadas en cinco especies de Cupresáceas

Especie	Longitud de la raíz/estaquilla (cm)	
	Sin temperatura	Con temperatura
Junípero	3.5 a	3.0 a
Ciprés	1.4 b	4.0 a
Cedro limón	4.2 a	2.8 a
Thuja	2.4 b	5.1 a
Falso ciprés	3.1 b	6.0 a
Promedio	2.7	3.9

Nota: Valores promedio en una misma línea seguidas de la misma letra no son estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre sí.

Posición de las raíces formadas

Las raíces se formaron preferentemente en las heridas hechas a lo largo del tallo al establecer el ensayo, con un 66.6% de estacas en promedio de todas las especies. De hecho, en todas las especies se observó esta tendencia, con excepción del ciprés donde el mayor porcentaje de estacas que formaron raíces lo hicieron en la base de éstas (54.4%). La base de la estaca fue la segunda posición más importante de formación de raíces, con un 15.9% global de

estacas de todas las especies. Por el contrario, el cuello de la estaquilla fue el lugar menos frecuente para la formación de raíces con excepción del falso ciprés en el cual se observó un mayor porcentaje de estacas con raíces que aparecieron en el cuello, que en la base (Cuadro 11). De estos resultados se deduce que la realización de cortes o heridas en las estaquillas es de gran influencia en la formación de raíz en estas especies, por lo que se recomienda esta práctica si se desea un mayor porcentaje de estacas enraizadas

Cuadro 11. Posición de las raíces formadas en las estacas (% de estacas) de cinco especies de Cupresáceas después de tres meses de enraizamiento

Especie	Posición de aparición de la raíz (% de estacas)						
	Base	Heridas	Cuello	Base + heridas	Base + cuello	Heridas + cuello	Base + cuello + heridas
Junípero	5.1	71.4	2.0	21.4	0.4	0.0	0.0
Ciprés	54.4	36.7	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0
Cedro limón	13.8	76.1	5.5	3.7	0.0	0.0	0.9
Thuja	2.2	86.7	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0
Falso ciprés	2.9	60.0	19.4	1.2	0.3	15.3	1.2
Promedio	15.9	66.6	5.5	8.4	0.1	3.1	0.4

CONCLUSIONES

Se lograron resultados favorables en la emisión de raíces adventicias en estaquillas juveniles de cinco especies de Cupresáceas, incluyendo junípero, ciprés, cedro limón, thuja y falso ciprés. Sin embargo, cada

especie presentó un comportamiento y capacidad diferente para la formación de raíces. El análisis de varianza mostró efectos significativos ($p \leq 0.05$) de los dos factores evaluados (dosis de AIB y temperatura) sobre el porcentaje de estacas que formaron callos y raíces en todas las especies. La

interacción entre los factores anteriores también fue significativo en la mayoría de las especies.

La aplicación de AIB en solución líquida influyó favorablemente en todas las especies, en la formación de callo como de raíces adventicias, aunque en diferentes niveles para cada una de ellas. En la mayoría de las especies la dosis óptima para la formación de callo y raíces fluctuó entre 10,000 y 20,000 ppm. A diferencia de lo anterior, el uso del producto comercial Radix F-10,000 (con una concentración de diez mil ppm de AIB en polvo) no estimuló la formación de callos y/o raíces en la mayoría de las especies. En

junípero, ciprés y cedro limón, el aumento de la temperatura en el sustrato influyó en forma negativa en la formación de callos y raíces, lográndose mejores resultados en la cama sin calefacción. Sin embargo, en las otras dos especies (thuja y falso ciprés) el aumento de la temperatura si estimuló la formación de raíces.

La aparición de callos y raíces en todas las especies fue preferentemente en las heridas hechas a lo largo del tallo al establecer el ensayo, por lo que la realización de cortes o heridas en las estaquillas tiene una gran influencia en la formación de raíces en estas coníferas.

REFERENCIAS

- Cooper, P. D. E. 1977. Effect of bottom heat in a mist propagation unit. Rept. Luddington Exp. Hortic. Sta. pp. 180-182.
- Dirr, M.A. y C. W. Heuser. 1987. The reference manual of woody plant propagation from seed to tissue culture. University Press, Inc. Georgia, EUA. 239 p.
- Haissig, B. E. 1974. Origins of adventitious roots. N. Z. J. For. Sci 4(2): 299-310.
- Hartmann, H. T. Y D. E. Kester. 1990. Propagación de plantas, principios y prácticas Trad. al español por Antonio Marino. 4ª ed. México, CECOSA. pp: 219-360.
- Iglesia de la , G. J. 1992. Arboricultura general. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:32-43.
- Kelly, J. C. And J. G. D. LAMB. 1979. Nursery stock. An Foras Taluntais Ann. Reot. pp 21-32.
- Kormanik, P. P. y C. L. Brown. 1974. Vegetative propagation of some selected hardwood forest species in the Southeastern United States. N. Z. J. For. Sci. 4(2): 228-234.
- Loach, K. 1988. Controlling environmental conditions to improve adventitious rooting. In: Adventitious Root Formation in Cuttings. Dioscorides Press. Portland, Oregon, USA. pp: 249-273
- Macdonald, B. 1986. Practical woody plant propagation for nursery growers. Vol. 1. Timber Press. U. S. A. pp: 219-276.
- Mateo S., J. J. 1997. Efecto del AIB y temperatura del sustrato en la formación de raíces adventicias en cinco especies de coníferas ornamentales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 80 p.
- Prasad, S., M. R. Murthy, R. Karoshi y M. Singh. 1996. Vegetative propagation of *Eucalyptus* species via Hidropit. Indian Forester 122(9):850-853.
- Prieto R., J. A. 1992. Estudio de algunos factores que influyen en la propagación por estaquillas de *Cupressus guadalupensis* S. Wats. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Rodríguez R., A. 1988. La multiplicación de las plantas y el vivero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 165 p.
- Rosas M., V. Teres., Y A. Artetxe.1994. Enraizamiento del *Xcupressocyparis Leylandii*. ITEA España No. 15.
- Velarde F., G. 1989. El estaquillado, guía practica de multiplicación de las plantas. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. pp:39-69.

EFFECTO DEL ÁCIDO GIBERÉLICO, LA BENCILAMINOPURINA Y SALES EN LA ONTOGENIA DE *Pinus montezumae* LAMB

Marcos Jiménez Casas¹, Jesús Jasso Mata¹,
Ma. Cristina López Peralta², J. Jesús Vargas Hernández¹

RESUMEN

Pinus montezumae Lamb. es una de las especies de pino de mayor importancia económica en México; sin embargo, no se utiliza en repoblaciones artificiales por el lento o nulo crecimiento en la altura de la plántula, al alcanzar el estadio cespitoso. Con el propósito de acelerar el paso del estado cespitoso fueron probadas cuatro soluciones de ácido giberélico, (bencilaminopurina), sales orgánicas (thiourea) e inorgánicas (nitrato de potasio y sulfato de zinc) en plántulas de *Pinus montezumae* de dos, cuatro y ocho meses de edad. Las concentraciones de los reguladores del crecimiento y de las sales utilizadas resultaron parcialmente tóxicas, al follaje de las plántulas, lo cual posteriormente afectó su supervivencia. Sin embargo, los reguladores incrementaron el diámetro del hipocotilo y estimularon las yemas fasciculares en las plantas de dos, cuatro y ocho meses. El desarrollo de la yema principal solamente se favoreció en las plantas de ocho meses, aunque no se observó efecto alguno en el alargamiento de la misma.

Palabras clave: *Pinus montezumae*, estado cespitoso, reguladores de crecimiento, epicotilo.

ABSTRACT

Pinus montezumae Lamb. is one of the most important Mexican pine species for economic purposes; however, it is not usually used in commercial plantations because of the nule or slow height growth of seedlings when they reach the grass stage. In order to stimulate this condition, four solutions of giberellic acid (bencilaminopurina), organic salts (thiourea) and inorganic salts (potassium nitrate and zinc sulfate) were tested upon *Pinus montezumae* seedlings of two, four and eight months old. All concentrations of growth regulators and salts were toxic, causing foliage damage which, as a consequence, had an effect upon seedling survival. However, growth regulators affected hypocotil diameter increment and bud stimulation in two, four and eight months seedlings. Apical bud formation was only stimulated in seedlings of eight months, although no elongations effect was noticed.

Key words: *Pinus montezumae* Lamb., grass stage, growth regulators, epicotyl.

INTRODUCCIÓN

Pinus montezumae Lamb. presenta una amplia aunque discontinua distribución en México, desde Chiapas hasta Nuevo León, Coahuila y Durango (Jasso, 1990). La calidad de sus productos para la industria de la madera lo catalogan como una de las especies del género *Pinus* de mayor importancia económica Villaseñor *et.al.* (en Jasso, 1990). Sin embargo, no ha sido utilizado en repoblaciones artificiales debido al lento crecimiento en ontogenia temprana; inmediato a la germinación, las plántulas suspenden su crecimiento en altura e inician un letargo aparente, aunque el sistema radical y el follaje tengan un rápido crecimiento; esta condición es conocida como estadio cespitoso, el cual se asemeja

a un zacate amacollado más que a un pino (Zimmermann y Brown, 1980). Se ha observado que las plantas pueden permanecer en dicho estadio por más de cinco años (Jasso, 1990), lo cual es un riesgo para la supervivencia, debido a que las especies pioneras compiten con la especie y acentúan aún más, el estadio cespitoso (Becerra, 1990) lo que expone a la planta a ser más susceptible a enfermedades, plagas, depredación y pastoreo (Musalem, 1984). Para considerar a *P. montezumae* en programas de repoblación natural y artificial, es necesario estudiar los factores que determinan el estado cespitoso así como los factores que aceleren el tránsito de dicho estado a un estadio superior.

El propósito del ensayo fue determinar los

¹ Especialidad Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados correo-e m8036671@colpos.colpos.mx

² Especialidad Genética, IREGEP, CP.

efectos de los reguladores del crecimiento en combinación con sales orgánicas e inorgánicas durante la ontogenia temprana de *P. montezumae*, con la intención de llegar a precisar cómo estimular el crecimiento en longitud del epicotilo, o bien romper el estadio cespitoso durante la ontogenia temprana de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicaron soluciones de giberelina AG₃ (Sigma), bencilaminopurina BA (Sigma) y sales orgánicas: thiourea (Merck) e inorgánicas: nitrato de potasio (KNO₃) y sulfato de zinc (ZnSO₄) (Merck) a plantas de dos, cuatro, y ocho meses de edad de *Pinus montezumae* para un total de cuatro tratamientos bajo un diseño factorial 2 X 2 (Cuadro 1). El testigo (A) sólo utilizó agua destilada; a todas las soluciones se les agregó tween y dimetil sulfóxido (DMSO) al 0.1% como agentes surfactantes. Cada solución (tratamiento) se colocó en un vaso de precipitado de mil ml sumergiendo el follaje de las plantas de ocho meses, y en un vaso de 25 ml para el de dos y cuatro meses. De esta forma la totalidad del follaje de cada planta estuvo en contacto con la solución durante un lapso de 15 segundos. El procedimiento se llevó a cabo entre las 7:00 y 9:00 horas en tres fechas, con intervalos entre tratamientos de quince días. Se establecieron ensayos independientes para cada edad de planta con un diseño completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental contó con 15 plantas, en total

de 45 plantas por tratamiento. El material se desarrolló en condiciones de vivero, a una temperatura media de 21°C, con fluctuación de seis a 26°C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Supervivencia

La aplicación de los reguladores de crecimiento (AG₃ + BA) y sales orgánicas e inorgánicas (thiourea, KNO₃, ZnSO₄) en las dosis utilizadas en forma aislada o combinada (tratamientos B, C y D) tuvo efectos tóxicos para todo el material experimental, independientemente de la edad, ya que cinco días después de la segunda aplicación, las plantas sometidas a los tratamientos mostraron daños en las porciones distales de las acículas en forma de manchas cloróticas. Este daño se presentó principalmente en las hojas primarias y las secundarias más jóvenes. Sin embargo, después de la última aplicación, el daño avanzó hasta cubrir más de la mitad de las acículas; la mayor cantidad de follaje perdido ocurrió en las plantas donde se aplicaron las sales y los reguladores en forma combinada. Esto afectó la supervivencia de las plantas significativamente en los dos factores evaluados (sales y reguladores) y en su interacción (Cuadro 2).

A pesar de que la aplicación de las sales y los reguladores de crecimiento por separado (tratamientos B y C) causaron daño al follaje, éste no fue tan evidente como el que ocurrió al combinar los dos

Cuadro 1. Tratamientos de giberelina (AG₃), bencilaminopurina (BA), thiourea (NH₂CSNH₂), nitrato de potasio (KNO₃) y sulfato de zinc (ZnSO₄) aplicados a plántulas de *Pinus montezumae* de dos, cuatro, y ocho meses en estadio cespitoso

Tratamiento	Reguladores (F1)		Sales orgánicas e inorgánicas (F2)		
	AG3 (1.44X10 ⁻³ M)	BA (8.87X10 ⁻³ M)	Thiourea (13.1X10 ⁻³ M)	KNO3 (14.8X10 ⁻³ M)	ZnSO4 (17.3X10 ⁻³ M)
A (0, 0)	-	-	-	-	-
B (1, 0)	+	+	-	-	-
C (0, 1)	-	-	+	+	+
D (1, 1)	+	+	+	+	+

(+) Adición del compuesto, (-) Sin adición del compuesto, (F1) Factor 1, (F2) Factor 2.

componentes químicos, observándose una supervivencia de plantas similar a la del tratamiento testigo (Cuadro 3). En cambio, en el tratamiento combinado (sales y reguladores) los porcentajes promedio de supervivencia fueron los más bajos para las tres edades probadas, lo que se reflejó en los promedios entre tratamientos en la combinación reguladores - sales, en plantas de dos meses, con 48.8 y 49.9 %, en las cuatro meses con 72.0 y 69.33 % y en las de ocho meses con 71.1 y 70.0 %, valores que contrastan con los demás tratamientos donde los promedios fueron de alrededor del 90 %. De acuerdo con estas respuestas las plantas más afectadas fueron las de dos meses registrando los menores porcentajes de supervivencia (Cuadro 3). Es probable

que a temprana edad, el poco desarrollo de las plantas no les permitió contar con reservas suficientes para recuperarse, como sucedió con algunas de las plantas de cuatro y ocho meses de edad (Wahlemberg, 1946). Little (1984), efectuó algunos ensayos para estimular la brotación de yemas laterales y encontró respuestas de toxicidad similares en el follaje de *Abies balsamea* L., semejantes cuando se les aplicó bencilaminopurina en dosis de 600 mg L⁻¹; Kossuth (1978 y 1981) y Hare (1984) también reportaron efectos semejantes en plantas de *Pinus sylvestris* L. y *P. palustris* Mill, en tratamientos donde estuvo presente algún tipo de citocinina en altas concentraciones. De acuerdo con estos resultados, se puede inferir que la

Cuadro 2. Análisis de varianza del efecto de reguladores del crecimiento y sales orgánicas e inorgánicas sobre el porcentaje de supervivencia de las plantas de *Pinus montezumae* de dos, cuatro, y ocho meses de edad

Fuente de variación	Cuadrados medios		
	Edad (meses)		
	2	4	8
Reguladores del crecimiento (R)	0.936**	0.289**	0.311**
Sales orgánicas e inorgánicas (S)	0.139**	0.934**	0.166**
Interacción (RXS)	0.815**	0.446**	0.503**
Error	0.11	0.13	0.12
C.V.	11.15	10.55	9.04

**Significativo con $\alpha \leq 0.05$.

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de reguladores del crecimiento y de sales orgánicas e inorgánicas sobre la supervivencia de plantas de *Pinus montezumae* de dos, cuatro y ocho meses de edad

Edad (meses)	Sales	Reguladores del crecimiento		
		Ausencia	Presencia	Valor promedio
2	Ausencia	97.7	84.4	91.0
	Presencia	82.2	15.5	48.8
	Valor promedio	89.9	49.9	
4	Ausencia	97.3	89.3	93.3
	Presencia	94.6	49.3	72.0
	Valor promedio	96.0	69.3	
8	Ausencia	97.7	93.3	95.5
	Presencia	95.5	46.7	71.1
	Valor promedio	96.6	70.0	

toxicidad observada en el follaje de las plantas de *P. montezumae* fue causada por las altas concentraciones de citocinina y de las sales orgánicas e inorgánicas empleadas; ya que al parecer, la toxicidad aumentó al combinar los dos tipos de sustancias, las que afectaron de manera negativa la supervivencia de *P. montezumae*.

Diámetro de hipocotilo

Al aplicar el análisis de varianza se obtuvieron efectos significativos ($p < 0.05$) para los factores evaluados (reguladores y sales) en el incremento en diámetro del hipocotilo de las plantas de *Pinus montezumae* de dos, cuatro y ocho meses de edad (Cuadro 4). Los reguladores influyeron positivamente en el incremento en diámetro del hipocotilo de las plantas de *P. montezumae* mientras que las sales y la interacción entre reguladores y sales inhibieron el incremento en diámetro. Los mayores incrementos en el diámetro del hipocotilo en las tres edades, especialmente en los primeros 20 días de evaluación, se observaron únicamente en las plantas

donde se aplicaron los reguladores del crecimiento ($GA_3 + BA$) (Fig. 1).

Las plantas de cuatro y ocho meses en esta fecha mostraron incrementos mayores en 28 y 38%, respectivamente, con relación al incremento de los testigos. Sin embargo, en las plantas de dos meses la respuesta fue menor, con un incremento de 9%, posiblemente debido a que en esta edad las plantas no son muy sensibles a los efectos de las sustancias químicas y además son más vulnerables a los daños, lo que afectó su crecimiento y desarrollo. El incremento del hipocotilo en las evaluaciones a los 40 y 60 días disminuyó, a casi la mitad del incremento inicial, de forma que los incrementos en los testigos fueron semejantes a los de las plantas tratadas (Fig. 1).

La disminución en los incrementos aparentemente se debió al efecto tóxico que generó el tratamiento en las plantas en las últimas fechas. Como se mencionó anteriormente, cerca del 50% del follaje murió, reflejándose en una reducción en el crecimiento en diámetro. Es posible que bajo estas circunstancias la planta destine sus reservas a la recuperación inmediata del follaje y entonces disminuya

Cuadro 4. Análisis de varianza para los diámetros de plantas de *Pinus montezumae* Lamb. de dos, cuatro y ocho meses de edad en los tratamientos con reguladores y sales orgánicas e inorgánicas

Edad	CUADRADOS MEDIOS				
	Factor de variación			Error	C. V.
	Reguladores del crecimiento (R)	Sales (S)	Interacción (R*S)		
Dos meses:					
20 días	0.02**	0.05**	0.002**	0.003	6.69
40 días	0.13**	0.10**	0.015**	0.009	7.53
60 días	0.16**	0.05**	0.22**	0.005	5.34
Cuatro meses:					
20 días	0.19**	0.03**	0.007NS	0.013	7.21
40 días	0.21**	0.08**	0.03**	0.021	8.61
60 días	0.39**	0.05**	0.06**	0.018	7.75
Ocho meses:					
20 días	5.23**	0.18**	1.16NS	0.08	5.29
40 días	10.29**	0.19**	0.01**	0.24	7.21
60 días	9.14**	0.14**	0.50**	0.33	7.57

**Significativo con $\alpha \leq 0.05$, N.S.: No significativo.

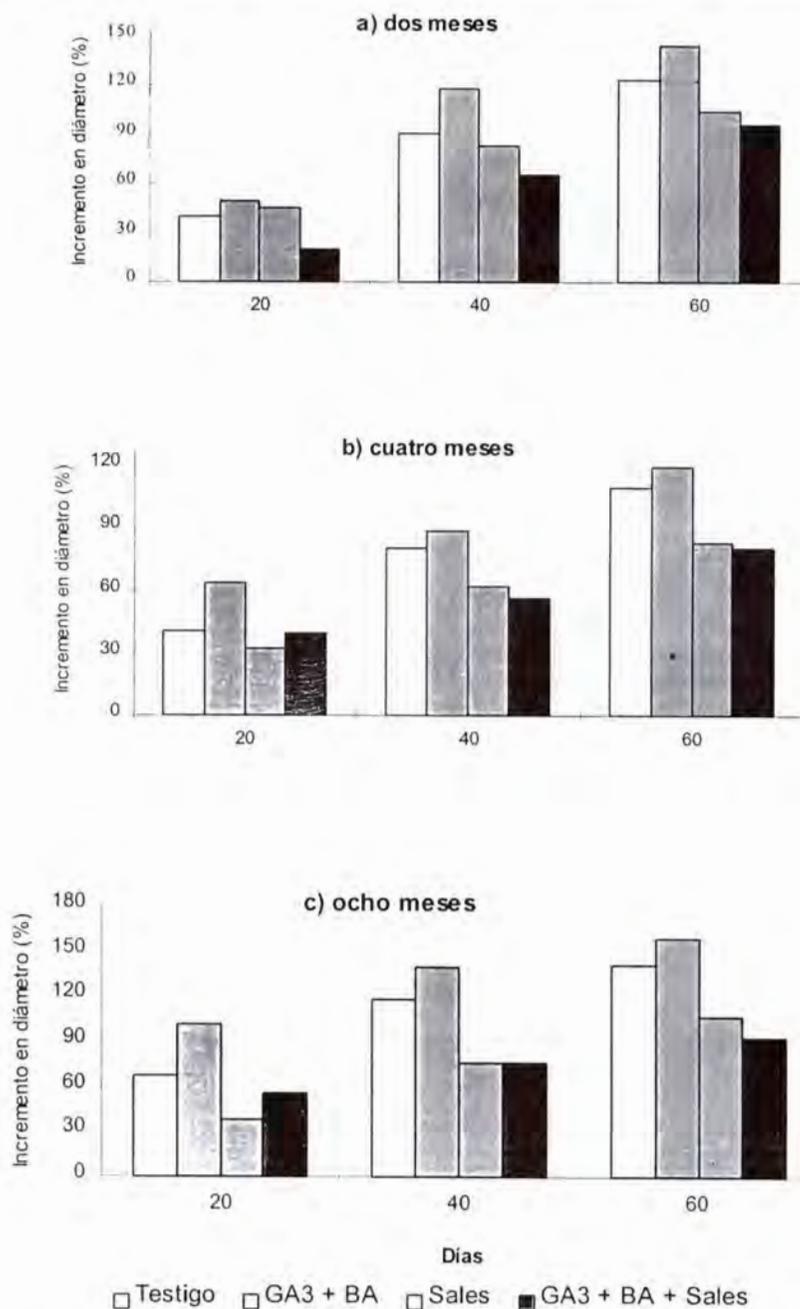


Figura 1. Porcentaje de incremento en diámetro del hipocotilo de plantas de *Pinus montezumae* de dos, cuatro, y ocho meses de edad, sometidas a los tratamientos A (Testigo), B (GA₃+BA), C (sales) y D (GA₃+BA+sales).

momentáneamente el crecimiento de otras estructuras vegetales aunque se considera que el incremento en diámetro obedece al crecimiento cambial inducido por la giberelina, como se ha demostrado en otras especies forestales (Little y Pharis, 1995; Moritz, 1995). Hace más de 20 años se sabe que el ácido giberélico promueve

la producción de xilema en especies leñosas, como en *Pinus sylvestris* (Hejnowicz y Tomaszewski, 1969) y de otras coníferas (Odani, 1975; Denne y Wilson, 1977) cuando fueron tratadas con AG₃. Estos resultados fueron confirmados posteriormente por Wang *et al.* (1995b), quienes encontraron que las giberelinas

AG₃ y AG_{4/7} aplicadas exógenamente en plantas de *Pinus sylvestris*, estimulan la producción del xilema y del floema.

Inducción de yemas fasciculares

La aplicación de reguladores de crecimiento tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en la inducción de las yemas fasciculares de las plantas probadas; además con el factor reguladores y la interacción reguladores con sales (tratamientos B y D), se estimuló la producción de yemas fasciculares en las plantas de *Pinus montezumae* de dos, cuatro, y ocho meses de edad, mientras que la aplicación de sales no tuvo un efecto significativo. El porcentaje de plantas con brotes y el número de brotes por planta fueron mayores en el tratamiento con reguladores de crecimiento sin la adición de sales para las tres edades de plantas evaluadas, pero especialmente en las plantas de ocho meses, las que presentaron el mayor porcentaje de plantas con brotes y el mayor número de brotes por planta con 93.3 y 18.6%, respectivamente. Es posible que el mayor daño a las plantas por la aplicación conjunta de reguladores (GA₃ + BA) y sales (thiourea, KNO₃ y ZnSO₄), influyó de manera importante en la estimulación de las yemas fasciculares, reflejó de los bajos valores de ese tratamiento con respecto al aplicado solamente con reguladores. En cambio, en los tratamientos sin reguladores de crecimiento (tratamientos A y C) no se observó la emisión de yemas fasciculares en las plantas tratadas (Cuadro 5).

Resalta que la respuesta por la aplicación de AG₃ y citocinina fue muy rápida, ya que

a los ocho días de la primera aplicación en las plantas se hinchó la base de las acículas, con aparición de una coloración rosada, que posteriormente tomó una tonalidad roja, cinco días después de la segunda aplicación las yemas fasciculares comenzaron a notarse. Kossuth (1978) observó una respuesta similar en *Pinus sylvestris*, en cuanto a la coloración y al hinchamiento mostrado en la base de las acículas cuando aplicó BA a plantas de cuatro años de edad establecidas durante un ensayo para inducir la producción de vástagos laterales. Varias investigaciones con especies ornamentales y frutales han demostrado que las citocininas actúan directamente en la estimulación de las yemas laterales (Poll, 1968; Milbocker, 1972; Broome y Zimmerman, 1976; Wright, 1976). En la presente investigación la bencilaminopurina indujo el desarrollo de las yemas fasciculares, al promover la actividad meristemática en las yemas localizadas en la base de las acículas. En otras especies de coníferas se ha observado que las citocininas tienen un efecto directo en la inducción de yemas laterales, como lo señalan los trabajos con *Pinus ponderosa*, *P. sylvestris*, *P. taeda* y *P. pseudostrobus* (Cohen y Shanks, 1975; Cohen, 1978; Blake y South, 1991).

Inducción de yema apical

Los tratamientos químicos aplicados en las plantas afectaron la inducción de la yema apical, ya que con el factor reguladores y su interacción con sales orgánicas e inorgánicas (tratamientos B y D), también se favoreció la formación de dicha yema

Cuadro 5. Porcentaje de plantas con yemas brotadas y número de yemas brotadas por planta de *Pinus montezumae* Lamb. de dos, cuatro y ocho meses de edad, sometidas a los tratamientos A, B, C y D

Tratamiento	Plantas con brotes (%)			No. plantas con brotes		
	Edad (meses)			Edad (meses)		
(F1, F2)	2	4	8	2	4	8
A (0, 0)	0	0	0	0	0	0
B (1, 0)	86.8**	78.6**	93.3**	8.09**	7.1**	18.6**
C (0, 1)	0	0	0	0	0	0
D (1, 1)	100**	50.6**	42.2**	10.8**	7.3**	11.3**

**Significativo con $\alpha \leq 0.05$. F1: Factor 1 (Reguladores del crecimiento AG₃ + BA), F2: Factor 2 (Sales orgánicas e inorgánicas)

principal en las plantas de *Pinus montezumae* de ocho meses, pero no en las plantas más jóvenes (dos y cuatro meses). Los porcentajes más altos de plantas con yema apical se encuentran en los tratamientos con 82.22 y 40%, respectivamente, con un promedio de 61.1% (Cuadro 6). Cabe recordar que las plantas que se les aplicaron los reguladores de crecimiento en forma conjunta con las sales, mostraron un mayor grado de toxicidad y una menor supervivencia, lo que posiblemente influyó en la inducción de la yema apical. Sin embargo, aún en ese tratamiento, la inducción fue notable en comparación con los tratamientos donde no se aplicó reguladores de crecimiento; en este caso el promedio fue del 5.55% de plantas con yema apical (Cuadro 6).

Estudios con otras especies demuestran que uno de los pasos iniciales para la liberación del letargo es la aparición de las citocininas en los tejidos meristemáticos. Por ejemplo, en *Malus hupenhensis* (Pamp.) Rehd se logró romper el letargo con el uso de citocininas (Broome y Zimmerman, 1976). Por otro lado, en estudios hechos con *Pinus radiata* D. Don, se observó que durante la dormancia invernal de las yemas meristemáticas, existen altas concentraciones de glucósidos de zeatina, determinadas como precursores de ésta, pero cuando las yemas inician la actividad y comienzan su desarrollo, la concentración de los glucósidos disminuye y aumenta la concentración de la zeatina, así como de residuos de glucósidos, evento que señala la activación de las moléculas de zeatina (Taylor *et al.*, 1984). Al parecer, estos precursores (glucósidos de zeatina) se encuentran como moléculas de almacenamiento y requieren de otros factores para que la zeatina se active.

En contraste con las plantas de ocho meses de edad, en las de dos y cuatro no se indujo yema terminal en ningún tratamiento. Es posible que el tejido de la yema no presente la sensibilidad y el vigor necesarios para responder al estímulo causado por los reguladores (Bachelard y Wightman, 1974); también se infiere que el poco desarrollo y crecimiento de las plantas de dos y cuatro meses de edad les impide tener suficientes reservas de carbohidratos, principalmente en el cuello de la raíz (Hare, 1984), como para inducir la formación de la yema apical; además, se considera que en estas plantas hubo una mayor mortalidad por efectos tóxicos de los reguladores del crecimiento que pudieron afectar la formación de dicha yema.

CONCLUSIONES

Los reguladores del crecimiento estimularon el desarrollo de las yemas laterales en plantas de dos, cuatro y ocho meses, y la formación de la yema apical en plantas de ocho meses; se presume que la bencilaminopurina fue el regulador responsable. Probablemente, la giberelina indujo el crecimiento en longitud del hipocotilo de las plantas de las tres edades. Aunque no se descarta la posibilidad de que dichos efectos se deban a la acción sinérgica de la bencilaminopurina y de la giberelina, pese a que no existen evidencias en la literatura. La toxicidad observada en el follaje de las plantas de *Pinus montezumae* de dos, cuatro y ocho meses fue a causa de las altas concentraciones utilizadas en los reguladores del crecimiento. De acuerdo con los resultados se recomienda en próximos ensayos disminuir las

Cuadro 6. Porcentaje de plantas de *Pinus montezumae* de ocho meses de edad con yema principal, tratadas con reguladores de crecimiento y sales

Sales	PLANTAS CON YEMA PRINCIPAL (%)		
	Reguladores del crecimiento		Valor promedio
	Ausencia	Presencia	
Ausencia	8.8	82.2	45.5 a
Presencia	2.2	40.0	21.1 b
Valor promedio	5.55 b	61.1a	

concentraciones de reguladores y sales para evitar los daños observados en las plantas. Por otro lado, aplicar los tratamientos al iniciar el invierno para estimular la formación y establecer las yemas apicales y así prepararlas para su probable alargamiento facilitado por los reguladores durante la primavera.

REFERENCIAS

- Bachelard, E. P. and F. Wightman. 1974. Biochemical and physiological studies on dormancy release in tree buds. III. Changes in endogenous growth substances and a possible mechanism of dormancy release in overwintering vegetative buds of *Populus balsamifera*. Can. J. Bot. 51: 2315 - 2326.
- Becerra L., F. 1990. Problems of montezumae pine seedling establishment in central Mexico: The need for renewing the pine forest. Tri News 8: 5 - 7.
- Blake, J.L. and D.B. South. 1991. Effects of plant growth regulators on loblolly pine seedling development and field performance.. In: Proc. 6th. Biennial S. Silv. Res. Conf. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. SE-70. pp: 100-107.
- Broome, O.C. and R.H. Zimmerman. 1976. Breaking bud dormancy in tea crabapple (*Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd.) with cytokinins. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101:28-30.
- Cohen, M.A. and J. Shanks. 1975. Effect of N6 - BA, GA₃ and removal of terminal buds on dwarf shoot development in *Pinus ponderosa*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100:404-406.
- Cohen, M.A. 1978. Shoot apex development and rooting of *Pinus strobus* L. by dwarf shoots. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103: 483-484.
- Denne, M. R. and J.E. Wilson. 1977. Some quantitative effects of indoleacetic acid on the wood production and tracheid dimensions of *Picea*. Planta 134: 223-228.
- Hare, R.C. 1984. Stimulation of early height growth in longleaf pine with growth regulators. Can. J. For. Res. 14: 459-462.
- Hejnowicz, A. and M. Tomaszewski. 1969. Growth regulators and wood formation in *Pinus sylvestris*. Physiol. Plant. 22: 984-992.
- Jasso M., J. 1990. Genetic variation of provenances and differently treated stands of *Pinus montezumae* in Mexico. Ph. D. Dissertation. Yale University. New Haven, Connecticut. EEUU. 318 p.
- Kossuth, S.V. 1978. Induction of fascicular bud development in *Pinus sylvestris* L. Hort Science 13: 74-176.
- Kossuth, S.V. 1981. Shorting the grass stage of longleaf pine with plant growth regulators. For. Sci. 27: 400-401.
- Little, C.H.A. 1984. Promoting bud development in balsam fir christmas trees with 6-Benzilaminopurina. Can. J. For. Res. 14: 447 - 451.
- Little, C.H.A. and R.P. Pharis. 1995. Hormonal control of radial and longitudinal growth in the trees stem. In: Plant stems: Physiology and functional morphology. De. B.L. Gartner. Academic Press, San Diego. pp: 281-319.
- Milbocker, D.C. 1972. Axillary shoot stimulation in poinsettia with kinetin. Hort Science 7:483-484.
- Moritz, T. 1995. Biological activity, identification and quantification of gibberellins in seedlings of Norway spruce (*Picea abies*) grown under different photoperiods. Phisiol. Plant. 95: 67-72.
- Musalem, M.A. 1984. Effect of environmental factors on regeneration of *Pinus montezumae* Lamb., in a temperate forest of México. Ph. D. Dissertation, Yale University. New Haven, Connecticut. EEUU 244 p.
- Odani, K. 1975. The effects of indolacetic acid and chilling on cambial activity of *Pinus densiflora*. - J. Jpn. For. Soc. 57: 112-116.
- Poll, L. 1968. The effect of cytokinin N6 benzyladenine on bud break of fruit trees. Horticulturæ 22:3-12.
- Taylor, J.S., M. Koshioka, R.P. Pharis, and G.B. Sweet. 1984. Changes in cytokinins and gibberellin-like substances in *Pinus radiata* buds during lateral shoot initiation and the characterization of ribosil zeatin and novel ribosil zeatin glicoside. Plant Physiol. 74: 626-631.
- Wahleberg, J. 1946. Long gleaf pine: Its use, ecology, regeneration, protection, growth and management. Charles Lathrop Pack Forestry Foundation. Washington D.C. 429 p.
- Wang, Q., C.H.A. Little, T. Moritz and P.C. Oden 1995b. Effects of prohexadione on cambial and longitudinal growth and levels of endogenous. Journal Plant Growth Regul. 14:175-181.
- Wright, R.D. 1976. 6-benzylaminopurine promotes axillary shoots in *Ilex crenata* Thunb. Hort Science 11:43-44.
- Zimmerman, H.M. and C.L. Brown. 1980. Trees structure and function. Springer-Verlag, N.Y. U.S.A. 366 p.

CALENTAMIENTO EN AGUA DE LA MADERA DE ENCINOS COMO UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR SU PROCESO DE SECADO

David Zavala Zavala,¹ Salvador Bocanegra Ojeda,² Manuel González Jiménez³

RESUMEN

Una de las limitantes en la utilización de los encinos ha sido el proceso de secado de la madera, debido a los tiempos y costos excesivos cuando se realiza en estufas convencionales y a los tiempos prolongados y desarrollo de defectos al secarse al aire libre. Con la finalidad de mejorar el proceso en cuanto a la reducción de defectos en la madera y los tiempos de secado, se han realizado tratamientos de vaporización, de cepillado, de prensado e incisión de la madera previamente al secado. Como otra alternativa tendiente a reducir el tiempo de secado, este trabajo evalúa el efecto del calentamiento en agua de la madera con la finalidad de aumentar su permeabilidad y plasticidad para acelerar el secado sin incrementar los defectos. Para este análisis se utilizó madera aserrada de 4/4" de espesor de tres especies de encinos: *Quercus candicans*, 372 pies tabla (pt); *Q. laurina*, 200 pt; y *Q. rugosa*, 316 pt. De la madera aserrada de estas tres especies, la mitad se calentó en agua en un tanque metálico durante siete horas a una temperatura de 70°C. Esta madera se combinó con la otra mitad sin tratamiento, para secarse al aire libre apilada en tonga y en estufa convencional. Previamente al proceso de secado se determinó la calidad de la madera y se cuantificaron los defectos de grietas, torceduras, acanalamiento, arqueamiento y encorvado; estos defectos se volvieron a evaluar al final del proceso para definir el efecto del secado. La velocidad de secado en general fue similar en la madera tratada y en la testigo en los dos sistemas de secado, al aire libre se requirieron 71 días y en estufa en 17 días. En el secado al aire libre la especie que mejor se comportó fue *Q. laurina*, indistintamente del tratamiento de calentamiento, el tratamiento fue favorable únicamente para *Q. candicans*. En el secado en estufa *Q. rugosa* fue la de mejor calidad y la madera testigo se comportó en forma similar a la tratada. Los defectos de mayor impacto fueron las grietas, siguiéndoles el acanalamiento y el encorvado, en los dos sistemas de secado.

Palabras clave: Industria forestal, calentamiento de la madera, secado, encinos.

ABSTRACT

One of the limitations in the utilization of oaks has been the lumber drying process due to the excessive time and cost required when it is performed in conventional kilns and to the long time and defects developed in lumber when it is air dried. In order to improve the process in relation to the reduction of defects in lumber and the drying time, vaporization, planing, pressing and incising treatments previously to the drying process have been analyzed. As another alternative oriented to reduce the drying time, in this work the lumber heating effect in water has been evaluated in relation to the increment in permeability and plasticity to speed up the drying process without increasing the defects. For this analysis sawn lumber 4/4" thick of three oak species were used: *Quercus candicans*, 372 board feet (bf); *Q. laurina*, 200 bf; and *Q. rugosa*, 316 bf. Half of the lumber of these three species was heated up in water in a metallic container for 7 hours at 70 °C. This lumber was combined with the other half without treatment, and then air dried and conventional kiln dried. Previously to the drying process the quality of the lumber was determined and the splits, twist, cup, bow and crook were quantified; in order to define the drying effect, these parameters were evaluated again at the end of the process. In general, the drying rate of the lumber treated and untreated was similar in both drying systems, air drying was performed in 71 days and kiln dried in 17 days. In the air drying process, *Q. laurina* was the best regardless of the heating treatment. The treatment was helpful only to *Q. candicans*. In the kiln drying process *Q. rugosa* was the best in quality, and the behaviour of the untreated lumber was similar to the heated lumber. The most prominent defects were splits, cup and crook, in both drying systems.

Key words: forest industry, lumber heating, drying, oaks.

INTRODUCCIÓN

Los encinos son considerados, después de las coníferas, como el segundo grupo de especies más importante de los bosques de clima templado. Sin embargo, no obstante su importancia en cuanto a existencias maderables, los volúmenes aprovechados son muy reducidos, en parte por la falta de

conocimientos tecnológicos de sus maderas y por la rentabilidad de los procesos industriales. Se consideran en general como especies subutilizadas, aprovechándose en cantidades reducidas en la elaboración de mangos de herramientas, implementos agrícolas, para duela, lambrín y parquet; todos estos productos con ventajas técnicas en comparación con otras especies. Una

¹ Investigador Titular del CENID-COMEF, Coyoacán. INIFAP SAGAR. correo-e. zavalad@inifap2.inifap.conacyt.mx

² Profesor de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)

³ Egresado UMSNH

mayor proporción del volumen aprovechado de encino se destina para leña, carbón, astillas material celulósico y la producción de tableros aglomerados. Este tipo de aprovechamiento, aún cuando puede no ser el más adecuado desde el punto de vista técnico y económico, es más aceptable que la práctica de cinchamiento del arbolado, sin ningún aprovechamiento y que se aplica únicamente para eliminar o contrarrestar los volúmenes de encino con relación a los de pino. Esta subutilización contrasta con los productos de madera de encino de países europeos o de Estados Unidos de América, donde los productos derivados de estas especies tienen un alto valor en el mercado, como las barricas de añejamiento, muebles finos, chapa para triplay, etc. Para un aprovechamiento ideal de los encinos, se requiere definir el proceso más adecuado acorde a las características de la trocería, a las especies y a la rentabilidad de los procesos de industrialización.

Se considera que una limitante importante en el uso de encinos ha sido el secado de su madera, debido al tiempo y costo excesivo del proceso en estufas convencionales, y a los tiempos prolongados y defectos en la madera cuando se seca al aire libre, lo que repercute en pérdidas económicas. Bajo estas consideraciones, cualquier alternativa que contrarreste los problemas señalados, se reflejará en una mayor y mejor utilización de los encinos; por lo que se contempla como una opción el precalentamiento de la madera en agua para favorecer el proceso de secado al aumentar su permeabilidad y plastificar los elementos constitutivos por medio del calor en combinación con la humedad, que propicia movimiento del agua, acelera el secado y reduce los defectos de la madera (Simpson, 1995 y Harris *et al.*, 1989). Se determinó el efecto del calentamiento en agua de la madera de las especies de encinos, *Quercus candicans*, *Q. rugosa* y *Q. laurina*, analizando las características del proceso de secado al aire libre y en estufa convencional, en función del tiempo de secado y de la calidad de la madera respecto a los defectos intrínsecos al proceso.

ANTECEDENTES

El proceso de secado de la madera aserrada de encinos es el principal factor que limita su aprovechamiento, por los tiempos excesivos

para obtener madera seca con buenas características tanto en estufa como al aire libre, lo que se refleja en altos costos del proceso o en la mala calidad de la madera, repercutiendo en pérdidas económicas. Se han utilizado, tanto experimental como comercialmente, diferentes procesos, destacando el secado en estufa convencional y al aire libre.

El secado en estufa convencional, generalmente se controla a través de secuelas o programas de secado. De los trabajos realizados en México para el secado en estufa, destacan las secuelas desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF) (Ahora INIFAP) las cuales dieron buenos resultados en cuanto a la calidad del secado pero con tiempos relativamente prolongados. A estas secuelas se les denominó especial I, II, y III, la primera para secar madera aserrada de encino de 4/4", la segunda para 6/4" y 8/4" y la tercera para 10/4" de espesor.

Bejar (1983), compara el secado de la madera de *Quercus crassifolia*, *Q. candicans*, *Q. obtusata*, *Q. laurina* y *Q. castanea*, utilizando tres métodos de secado: al aire libre, en estufa convencional y en estufa eléctrica, evaluando el tiempo de secado y los defectos de acanalado, torceduras y arqueamiento. El tiempo de secado al aire libre fue de tres meses ocho días para lograr un 16.75% y en estufa convencional en doce días el C.H. fue de 9.48%. El sistema de secado en estufa convencional presentó menos defectos de acanalado y torceduras en comparación con el secado por dehumidificación, y el arqueamiento no mostró diferencias entre sistemas de secado. En algunas especies de encinos nacionales Razo (1990) aplicó la secuela T2-C2, secándolas en 23 días a 6% de C.H. y evaluó los defectos de acanalamiento, torceduras y encorvado, sin reportar la eficiencia de la secuela en la calidad de la madera, recomienda secar por separado a los encinos blancos y a los rojos para mejorar el proceso de secado. Además sugiere un tratamiento de vaporización o inmersión en agua en los encinos blancos, para eliminarles los extractivos y acelerar el secado. Zavala y Hernández (1995) en el secado al aire libre definen que *Quercus laurina* requiere el doble del tiempo que el pino y el aile, determinando un modelo de regresión para predecir el contenido de

humedad de la madera en diferentes intervalos de tiempo. Los principales defectos observados en encino fueron las torceduras, el arqueamiento y las rajaduras, en ese orden.

Con relación a trabajos realizados en otros países, Hildebran (1970) sugiere para los encinos blancos americanos (*Quercus alba*, *Q. prinus* y *Q. michauxii*) con densidad básica de 0.71 g/cm³, la secuela de temperatura 2/3, del grupo de madera 6; para los encinos rojos americanos (*Q. rubra*) con densidad 0.65 y los encinos europeos (*Quercus robur* y *Q. petrae*) con densidad básica 0.6 g/cm³, la secuela de temperatura 2/3, del grupo 5/6; para los encinos del mediterráneo (*Q. ilex*) con densidad básica de 0.85 g/cm³, la secuela de temperatura 1, del grupo 7. Rietz y Page (1971), Boone *et al.* (1988), Wengert (1990) y Simpson (1991), han definido secuelas de secado por grupos de especies y por regiones de los Estados Unidos. Para encinos blancos y rojos de las partes bajas del sureste de 4/4" y 5/4", la secuela T2-C1; para encinos rojos de las partes altas del noreste de 4/4" y 5/4", la secuela T4-D2; para los de 6/4" y 8/4" la secuela T3-D1, y para los de 10/4" y 12/4" la T3-C1. Para encinos blancos de las partes altas del noreste, de 4/4" y 5/4", la secuela T4-C2; para los de 6/4" y 8/4", la secuela T3-C1; para los de 10/4" y 12/4" la secuela T3-B1. Para encinos del oeste de los Estados Unidos, California black (*Quercus kelloggii*), Oregon White (*Q. garryana*), canyon live (*Q. chrysolepis*) con espesores de 4/4", 5/4", 6/4" y 8/4", la secuela T3-B1. Por su parte Pratt (1974) sugiere dos secuelas para *Quercus cerris* la Inglesa "B" y generaliza la aplicación de la secuela Inglesa "C" para las especies de encinos americanos, europeos y japoneses.

Un objetivo de las investigaciones del secado es reducir el tiempo del proceso sin afectar la calidad de la madera. Entre los métodos para aumentar la velocidad del secado se han analizado el cepillado, la pre-vaporización, el congelamiento, la compresión y tratamientos químicos a la madera aserrada. Entre los trabajos sobre el cepillado de la madera previamente al secado se tienen los de Rietz y Jenson (1966), McMillen (1969), Wengert y Baltés (1971), McMillen y Baltés (1972), Cuppett y Craft (1973), Simpson (1980) y Harris *et al.* (1989). En general, consideran que el

cepillado de ambas caras elimina los desgarramientos o grietas pequeñas en la superficie por efecto del aserrijo, generando superficies más resistentes a las fuerzas de tensión del secado. El cepillado reduce el desarrollo de rajaduras, el tiempo de secado, el consumo de energía y aumentar la capacidad de la estufa. La madera cepillada reduce su espesor en 8% secándose 12% más rápido, tiene 8% menos agua por remover, requiere 8% menos energía por secado, y se incrementa la capacidad de la estufa en 8%. Otra alternativa para reducir el tiempo de secado ha sido la vaporización de la madera previo al inicio del proceso de secado. A este respecto, Simpson (1974 y 1975) y Harris, *et al.* (1989) indican que la pre-vaporización es factible por no requerir equipo adicional, además de aumentar la permeabilidad de la madera al abrir su estructura, siendo mayor en el sentido longitudinal pero favoreciendo la transversal, que es más importante para el secado. Asimismo la permeabilidad, aumenta la difusión del vapor de agua, factor importante en la velocidad del secado.

La velocidad de secado de la madera aserrada de encino pre-vaporizada es alta en las primeras etapas, de verde a 30% de C.H., sin embargo en las 2/3 partes finales del proceso no hay diferencia en relación a madera sin tratar. El tiempo de secado se reduce de 20 a 30% por disminución del gradiente de humedad en el espesor de las tablas y por el aumento de la permeabilidad de la madera pre-vaporizada. Aparentemente no hay diferencia en el efecto de períodos de pre-vaporización de 2 a 4 hrs (Simpson, 1974 y 1975). Simpson (1975), en encino rojo *Q. rubra* pre-vaporizado a 185 °F por cuatro horas, en madera verde y en madera presecada al aire libre a 50% C.H., determinó que la pre-vaporización en la madera verde no afectó la calidad, pero la madera presecada al aire libre con rajaduras superficiales, se acentuaron drásticamente y provocó apanamiento. Respecto al secado al aire libre Wengert (1990) establece que con frecuencia la pérdida de madera por el desarrollo de defectos excede 10% de su valor, con un costo de degradación de \$ 0.30 Dls/día/millar de pies tabla. Incluyendo el costo de operación de secado al aire libre: apilado, maniobras e inventario, el secado al aire típico es el método más caro de secado de la madera de encino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y equipos utilizados los proporcionaron las empresas "San Juan Nuevo" y "Encinos Nacionales". La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y el INIFAP; interviniendo además, personal de apoyo en las distintas actividades realizadas en las diferentes fases del desarrollo del trabajo.

Selección de especies y aserrio de la trocería

Una de las consideraciones del proyecto fue definir las especies más importantes de encinos, desde el punto de vista de abundancia y conformación del arbolado, adecuadas para la producción de madera aserrada y con potencial de industrialización. El INIFAP y la empresa San Juan Nuevo, intervinieron en el muestreo e identificación del material de herbario, la selección del arbolado, las operaciones de derribo, troceo, transporte y aserrio de 16 trozas, correspondientes a las especies de *Quercus candicans*, *Q. rugosa*, y *Q. laurina*.

La trocería se aserró en la forma tradicional como se procesa el pino (combinación de cortes tangenciales y bastardos) en tablas de 3/4" de espesor, en anchos de 6" a 10" y en longitud de 8' 1/4". Después del aserrio cada tabla se trató por inmersión con una solución a base de pentaclorofenol para protegerla contra el manchado de hongos. Posteriormente se procedió a sellar las secciones transversales de cada tabla utilizando pintura de aceite para cada especie procesada. El volumen de madera aserrada que se generó de las trozas fue para *Q. candicans* 0.87839 m³ (372.43 p.t.), *Q. rugosa* 0.74637 m³ (316.4 p.t.), y *Q. laurina* 0.4718 m³ (200.04 p.t.).

Clasificación de la madera aserrada

Para evaluar el efecto del secado y cuantificar cada los tratamientos en las especies seleccionadas, se tomó como base la posible pérdida de volumen de madera y/o de calidad de cada tabla utilizada, por medio de su clasificación, con base en el Proyecto de Norma para Clasificar Madera Aserrada de Latifoliadas (DDI., 1991). Para la evaluación y cuantificación de los defectos de acanalamiento, arqueamiento, encorvado y torceduras de las tablas, se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-EE-95-1980 (DGN.

1980). La cuantificación de cada uno de estos defectos se expresó en porcentaje de la dimensión total de la tabla donde se midió cada defecto, i.e. el acanalamiento se midió en el ancho de la tabla, y se expresó como un porcentaje del ancho de la tabla evaluada.

Uno de los principios que utiliza el Proyecto de Norma para Clasificación de Madera Aserrada de Latifoliadas es cuantificar el "Número de Unidades de Corte" y la superficie libre de defectos de cada tabla. Estos parámetros se determinaron por cada tabla seleccionada antes de iniciar el proceso de secado y después de su ejecución. Por la diferencia de los parámetros indicados, se determinó el efecto de cada tratamiento analizado, en el proceso de secado al aire libre y en estufa convencional, en cada especie utilizada.

Pre calentamiento de la madera

Para realizar el pre calentamiento de la madera aserrada de las especies seleccionadas, se utilizó un tanque metálico de cuatro m de longitud, por 1.20 m de ancho y 0.70 m de alto, donde se colocó parte del volumen de la madera que representó a las tres especies, *Q. candicans* 0.34662 m³ (146.79 p.t.), *Q. rugosa* 0.31417 m³ (133.2 p.t.), y *Q. laurina* 0.1824 m³ (77.33 p.t.). Las tablas se colocaron en el tanque en forma paralela a su longitud en "camas" y utilizando separadores de 3/4" de espesor entre camas. Para la determinación de la transferencia de calor de la madera se seleccionaron tres tablas a las cuales se les realizó en uno de sus cantos y a la mitad de la tabla, una perforación con una broca de 1/8" de diámetro a una profundidad de 61 mm. En las perforaciones se colocaron tres termopares tipo "K" (constantan y cobre), los cuales se conectaron a un potenciómetro (termómetro digital) para medir la temperatura de las tablas y del agua durante el proceso de calentamiento de la madera (Figura 1). El exterior de los orificios se selló con resina epóxica con la finalidad de evitar la penetración del agua que pudiese interferir con la temperatura real de la madera. La temperatura del agua se registró con otro termopar ubicado en la parte media del tanque. Después de colocar la madera en el tanque y los termopares en las tres tablas seleccionadas, se procedió a llenarlo con agua hasta cubrir totalmente todas las tablas.

El agua del tanque se calentó con fuego directo de madera de desperdicio por la parte inferior procurando una distribución uniforme del calor. El registro de temperaturas del agua y de la madera se realizó cada 15

minutos al inicio del proceso y posteriormente cuando se logró una estabilización de la temperatura en las tablas, las observaciones se realizaron cada 30 minutos.

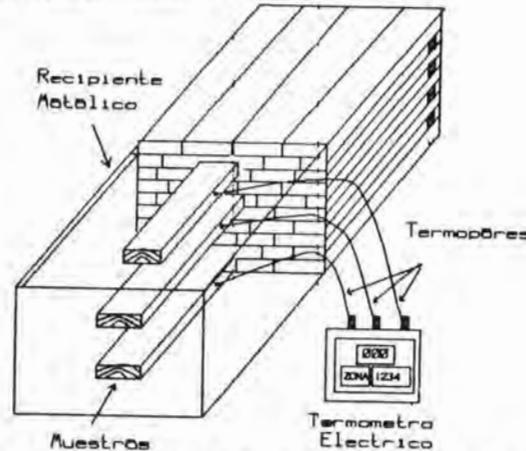


Figura 1. Colocación de los termopares y de las tablas en el tanque de calentamiento

Secado de la madera

Para el seguimiento del secado de la madera, tanto al aire libre como en estufa, se seleccionaron tablas representativas de las tres especies, de la madera precalentada y

sin tratamiento, y utilizando el método de secciones de humedad y de una muestra de la parte media de la tabla, se determinó el contenido de humedad inicial y durante el secado, a través de las siguientes relaciones:

$$\%CH_s = \frac{Ph - P_s}{P_s} \times 100, \quad \%CH_m = \frac{Pa - PSC}{PSC} \times 100, \quad PSC = \frac{P_i}{100 + \%CH_s}$$

- Donde: %CH_s = Contenido de humedad de la sección (es) (%)
 Ph = Peso húmedo de la sección (gr)
 P_s = Peso seco de la sección (gr)
 %CH_m = Contenido de humedad actual de la muestra (%)
 Pa = Peso actual de la muestra (kg)
 PSC = Peso seco calculado de la muestra (kg)
 P_i = Peso inicial de la muestra al momento de determinar el PSC (kg)

Secado al aire libre

El volumen de madera utilizado para evaluar el proceso de secado al aire libre con precalentamiento fue para *Q. candicans* de 0.2148 m³ (91.075 p.t.), para *Q. rugosa* de 0.15237 m³ (64.604 p.t.), y para *Q. laurina* de 0.1153 m³ (48.88 p.t.). El volumen de madera sin precalentamiento que se utilizó como testigo en el proceso de secado al aire libre fue *Q. candicans* 0.32857 m³ (139.31 p.t.), *Q. rugosa* 0.15237 m³ (64.604 p.t.), y *Q. laurina* 0.1153 m³ (48.88 p.t.).

La madera se apiló en tonga, utilizando separadores de 3/4" entre camas, y el registro de la pérdida de humedad o de velocidad de secado de la madera, se determinó por dos muestras representativas de cada una de las tres especies estudiadas, ubicando la mitad de ellas en cada costado de la pila. La pila se orientó en sentido

perpendicular a los vientos dominantes y la última cama se cubrió con un techo de madera para protegerla de los rayos del sol. El proceso se realizó en el área de secado de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en Morelia, Mich., en el periodo de Otoño e Invierno.

La determinación del contenido de humedad fue pesando las muestras periódicamente, al inicio del proceso diariamente, y después cada tercer día, por medio del procedimiento indicado en la sección anterior. Durante el desarrollo del secado, además del C.H. también se evaluaron los defectos que se presentaron por efecto de la pérdida de humedad de cada muestra. El proceso de secado se terminó cuando el contenido de humedad de la madera llegó a un 12%, momento en que se

procedió a reclasificar cada una de las tablas y a determinar nuevamente el área libre de defectos. Por diferencia de calidad y de volumen de cada tabla, se determinó el efecto del precalentamiento en las tres especies estudiadas.

Secado de la madera aserrada en estufa convencional

El análisis del efecto del precalentamiento de madera en el secado en estufa, utilizó para *Q. candicans* un volumen de 0.2036 m³ (86.32 p.t.), *Q. rugosa* 0.1345 m³ (57.028 p.t.), y *Q. laurina* 0.0853 m³ (36.16 p.t.). El volumen de madera sin precalentamiento (testigo) en el secado en estufa fue: *Q. candicans* de 0.13142 m³ (55.075 p.t.), *Q. rugosa* 0.1618 m³ (68.60 p.t.), y *Q. laurina* 0.0671 m³ (28.45 p.t.).

El proceso de secado se realizó en una estufa experimental marca Hildebrand, con capacidad de 2.025 m³ de volumen real, y de secado de madera de 1.012 m³, provista de ventilación axial por medio de un ventilador con motor de 1.5 kwatts, con 1130 revoluciones por minuto y con control automático de la temperatura y la humedad relativa. La madera se apiló en la estufa utilizando separadores de 3/4" entre camas.

El proceso de secado se realizó a través de la "Secuela especial I" para encino de 4/4" de espesor, desarrollada en el INIFAP. El control del proceso y cambio de etapas de la secuela, utilizó dos muestras de cada especie, ubicadas la mitad de ellas en cada costado de la pila. La determinación del contenido de humedad de las muestras, requerido para definir los cambios de etapas de la secuela, se efectuó pesando las muestras periódicamente, por el procedimiento indicado anteriormente.

Durante el secado, además del C.H. se evaluaron los defectos de cada muestra por efecto de la pérdida de humedad. El proceso de secado se terminó cuando el contenido de humedad de las muestras alcanzó un 8%, después de aplicarle los tratamientos de igualamiento y acondicionamiento. Posteriormente se reclasificó cada una de las tablas determinando nuevamente el área libre de defectos. Por diferencia de calidades y de volúmenes de cada tabla analizada, se definió el efecto del precalentamiento de la madera secada en estufa en las tres especies estudiadas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentan los resultados de la transferencia de calor a la madera durante la etapa de calentamiento en agua y el desarrollo del proceso de secado de la madera al aire libre y en estufa. Adicionalmente, se evalúan los defectos de cada tabla utilizada al comparar el efecto del tratamiento de calentamiento de la madera en agua con la madera sin tratar en los dos procesos del secado, al aire libre y en estufa convencional.

El calentamiento de la madera en agua

El proceso se realizó a una temperatura promedio de 70°C. (Figura 2). La temperatura del agua al inicio del tratamiento fue superior a la madera, y después de cuatro horas, prácticamente coincide la temperatura del agua con la de las muestras de las tres especies de encinos: *Q. laurina*, *Q. candicans* y *Q. rugosa*. El tratamiento de calentamiento a la madera se aplicó durante siete hrs. 30 min., y en un periodo de cinco horas la temperatura se mantuvo a 70°C.

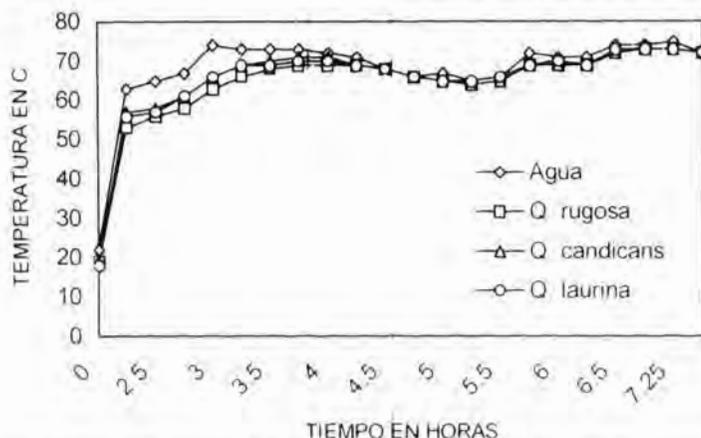


Figura 2. Transferencia de calor en la madera durante el calentamiento en agua

Secado al aire libre y en estufa de la madera con y sin tratamiento de calentamiento en agua

El secado al aire libre se realizó de otoño a invierno, con fluctuaciones de temperatura de 27 a 7 °C, y de humedad relativa de 95 a 17%, en un periodo de 71 días, para lograr un CH de 12%. Como se muestra en el Cuadro 1 y en la Figura 3, al momento de iniciar el secado al aire libre, las muestras con el tratamiento de calentamiento presentaron una humedad mayor por la absorción de agua de la madera, que fue de 65% y en las muestras sin calentamiento el contenido de humedad resultó de 58%, promediando ambos valores se determinó el CH de 61.5%, en las tablas utilizadas para el secado al aire libre. Sin embargo, se considera que no hay diferencia en el tiempo total de secado entre la madera con tratamiento de calentamiento en agua y la madera sin tratamiento. A partir del octavo día y hasta el final del secado, existió una diferencia mínima en la velocidad de evaporación del agua entre la madera con tratamiento de calentamiento y sin tratar (de 1 a 2% de CH), y al final del proceso en el

periodo de 72 días el contenido de humedad fue idéntico de 13% para la madera con tratamiento de calentamiento y de 12% para la madera sin tratamiento (Cuadro 3).

El secado en estufa convencional se realizó en un periodo de 17 días, con la secuela que se indica en la Figura 4. El contenido de humedad previo al inicio del proceso, fue de 76% para la madera con tratamiento de calentamiento y de 61% para la madera testigo o sin tratamiento, con un promedio de 68.6% para todo el material (Cuadro 1). Como en el secado al aire libre, en el secado en estufa no se aprecia diferencia en la velocidad de secado entre la madera tratada con calentamiento y la testigo, lo cual se manifiesta en los contenidos de humedad en ambos tipos de madera que se mantienen proporcionales durante todo el secado, coincidiendo prácticamente hasta el final del proceso en el 17vo día (Cuadro 1, Figura 3).

Evaluación del secado al aire libre y en estufa de la madera con y sin tratamiento de calentamiento

El efecto del tratamiento de calentamiento

Cuadro 1. Tiempo de secado y contenido de humedad de la madera secada al aire libre y en estufa, con y sin tratamiento de calentamiento

Tiempo y CH de secado al aire libre					Tiempo y CH de secado en estufa				
Días	C/Calent %CH	S/Calent %CH	Diferen. %CH	Promed %CH	Días	C/Calent %CH	S/Calent %CH	Diferen. %CH	Promed %CH
0	65	58	7	62	1	76	61	15	68
5	50	46	4	48	2	67	58	9	62
10	38	36	2	37	3	59	52	7	56
15	32	30	2	31	4	48	39	9	44
20	28	26	2	27	5	45	36	9	40
25	24	22	2	23	6	40	32	8	36
30	23	21	2	22	7	35	27	8	31
35	20	20	0	20	8	29	22	7	25
40	20	19	1	19	9	25	18	7	21
45	19	18	1	18	10	22	15	7	19
50	18	16	2	17	11	19	12	7	16
55	17	15	2	16	12	18	11	7	15
60	16	14	2	15	13	16	10	6	13
65	15	13	2	14	14	14	9	5	11
70	14	12	2	13	15	12	8	4	10
75	13	12	1	13	16	10	7	3	8
					17	8	6	2	7

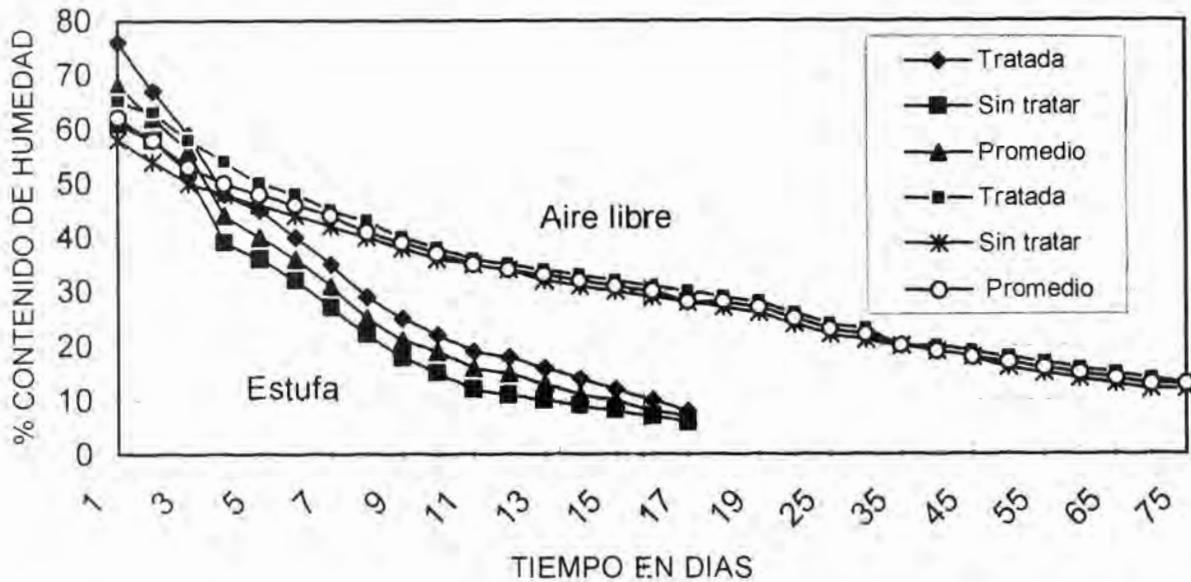


Figura 3. Secado al aire libre y en estufa de la madera con y sin tratamiento de calentamiento

fue diferente entre especies, como se aprecia en el Cuadro 2. En *Q. candicans*, la madera con tratamiento de calentamiento en agua secada al aire libre fue de mejor calidad que la que no se sometió a tratamiento, variando el porcentaje de volumen perdido de un 4.62% a un 7.17% respectivamente. Sin embargo, para esta misma especie secada en estufa, el comportamiento se invirtió, el porcentaje de madera con más defectos correspondió a la que se sometió a calentamiento, presentando una pérdida de volumen de 4.25%, en contraste con la madera que no se trató, cuyo porcentaje de pérdida de volumen fue de 3.25%. Para las otras dos especies estudiadas, *Q. rugosa* y *Q. laurina*, en los dos sistemas de secado, al aire libre y en estufa convencional, el porcentaje de pérdida de volumen de madera tratada con calentamiento fue mayor que el presentado en la madera sin tratamiento. El Cuadro 2 muestra que en estas dos especies la pérdida de volumen de madera con tratamiento de calentamiento fue alrededor de un 0.5% a un 2% mayor que la madera sin tratamiento, lo que representa un volumen económico poco significativo, por lo que se considera sin efecto en la calidad del secado el tratamiento de calentamiento en agua para estas dos especies. En *Q. candicans* y *Q. rugosa* la reducción del porcentaje de aprovechamiento se debió en gran parte al desarrollo de grietas durante el

secado, lo mismo que en *Q. laurina* (con calentamiento en agua). En *Q. laurina* sin tratamiento de calentamiento, se aprecia en algunas tablas una reducción en su aprovechamiento, sin embargo en el promedio general la tendencia se revierte. La reducción del aprovechamiento, en *Q. candicans* y *Q. rugosa*, se debió en gran medida al desarrollo de grietas durante el secado, al igual que la madera con calentamiento en agua de *Q. laurina*, especie que sin tratamiento, en algunas tablas reduce su aprovechamiento, sin embargo en el promedio general la tendencia se revierte.

Desarrollo de defectos en la madera secada al aire libre y en estufa

El desarrollo de los defectos de la madera se evaluó de manera semejante a la determinación de su clasificación, al inicio y al final de los procesos de secado al aire libre y en estufa; considerando las grietas, las torceduras, el acanalamiento, el arqueamiento y el encorvado. Los promedios de la variación de la deformación de cada uno de los defectos analizados después del secado de la madera con tratamiento de calentamiento y sin tratamiento, se indican en el Cuadro 3. Como se aprecia, el "número de unidades de corte" en cada tabla aumentó después del secado lo que indica que la calidad de la madera respecto a su clasificación disminuyó, lo cual significa que una tabla de 2da al aumentar el "número de

Cuadro 2. Porcentaje de volumen de madera aprovechable antes y después del secado al aire libre y en estufa convencional

Especie	Ensayo	Vol. antes del secado (%)	Vol. después de secado(%)	Pérdida de vol. (%)
SECADO AL AIRE LIBRE				
<i>Quercus candicans</i>	Con tratamiento	87.49	82.87	4.62
	Sin tratamiento	81.86	74.69	7.17
<i>Quercus rugosa</i>	Con tratamiento	55.47	49.91	5.56
	Sin tratamiento	68.83	64.47	4.36
<i>Quercus laurina</i>	Con tratamiento	70.90	68.90	2.00
	Sin tratamiento	61.38	62.00	0.62
SECADO EN ESTUFA				
<i>Quercus candicans</i>	Con tratamiento	76.15	71.42	4.73
	Sin tratamiento	76.32	73.07	3.25
<i>Quercus rugosa</i>	Con tratamiento	59.06	57.97	1.09
	Sin tratamiento	74.49	73.59	0.90
<i>Quercus laurina</i>	Con tratamiento	67.12	63.42	3.70
	Sin tratamiento	57.13	54.17	2.96

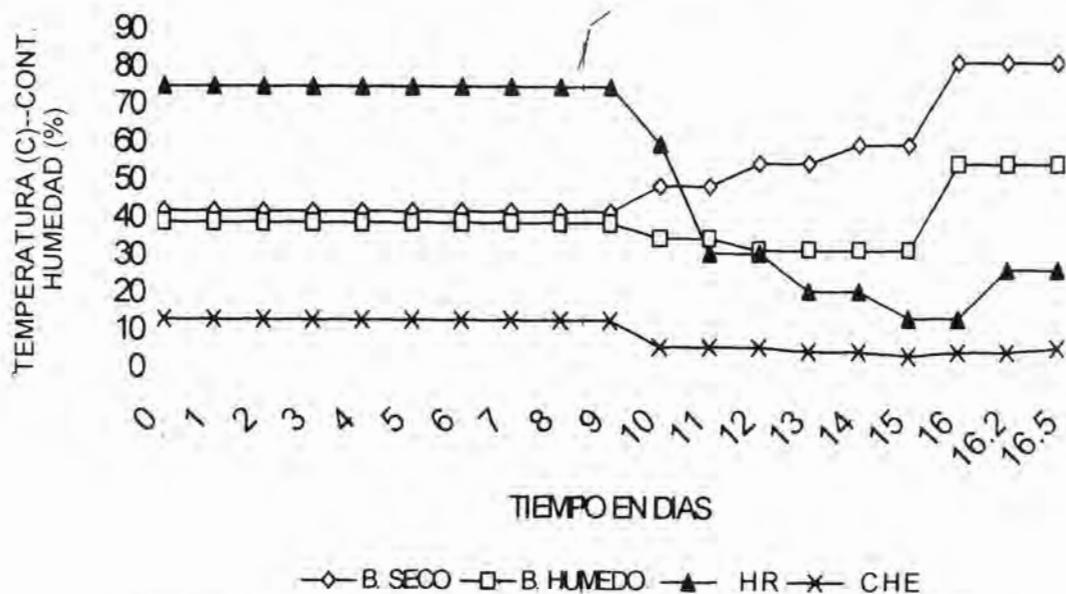


Figura 4. Secuela utilizada para el secado de la madera en estufa convencional

unidades de corte”, conserva la misma superficie útil pero se clasificaría en 3ra.

El defecto que más se presentó en general y que repercutió significativamente en la pérdida de volumen, fueron las grietas, que en el secado al aire libre de la madera con y sin tratamiento de calentamiento, se acentuaron más en *Q. rugosa*, correspondiendo precisamente a la especie con mayor incremento en el número de unidades de corte. Otro defecto sobresaliente es el acanalamiento, siguiéndole en orden de importancia el encorvado. Respecto a la especie con mejor comportamiento en el proceso de secado al aire libre se considera que fue *Q. laurina*, por la menor proporción de defectos y de unidades de corte. Con

relación al efecto del calentamiento de la madera comparada con el testigo, se puede considerar de poca significancia por la reducida diferencia en la proporción de defectos que se presentaron en ambos tipos de madera, como se aprecia en la Figura 5. Para la madera secada en estufa, también el defecto de mayor impacto en la pérdida de volumen y de calidad fueron las grietas, en este caso acentuadas más en *Q. laurina*, indistintamente del tratamiento de calentamiento. El segundo defecto más obvio fue también el acanalamiento, siguiéndole el encorvado, y en relación a la especie menos afectada en contraste con el secado al aire libre fue *Q. rugosa*. Respecto al tratamiento de calentamiento, en general

Cuadro 3. Porcentaje de deformación de la madera de encinos en el secado al aire libre y en estufa convencional

ESPECIES	No. DE UNIDAD	ANTES DEL SECADO					No. DE UNIDAD	DESPUES DEL SECADO				
		DEFECTOS						DEFECTOS				
		CORTE	§	§	§	§		CORTE	§	§	§	§
	GRIETAS	TORC.	ACANAL	ARQ.	ENCORV		GRIETAS	TORC.	ACANAL	ARQ.	ENCORV	
SECADO AL AIRE LIBRE												
<i>Q. candicans</i>												
con/tra.	2.24	0.00	0.00	0.04	0.11	0.20	3.24	3.25	0.08	1.09	0.46	0.53
sin/tra.	3.13	0.00	0.00	0.05	0.04	0.16	4.13	3.78	0.05	2.40	0.20	0.33
<i>Q. rugosa</i>												
con/tra.	3.25	0.00	0.00	0.01	0.07	0.27	4.42	7.44	0.06	0.87	0.51	0.82
sin/tra.	2.68	0.00	0.00	0.00	0.09	0.26	3.89	6.25	0.05	0.88	0.29	1.01
<i>Q. laurina</i>												
con/tra.	2.44	0.00	0.00	0.00	0.04	0.18	3.56	2.02	0.00	0.85	0.14	0.58
sin/tra.	3.45	0.00	0.00	0.00	0.05	0.17	4.09	0.00	0.07	1.62	0.23	0.27
SECADO EN ESTUFA												
<i>Q. candicans</i>												
con/tra.	2.75	0.00	0.01	0.00	0.19	0.25	4.25	2.77	0.15	1.69	0.45	0.91
sin/tra.	3.64	0.00	0.00	0.00	0.07	0.15	5.27	3.50	0.00	4.11	0.32	0.56
<i>Q. rugosa</i>												
con/tra.	2.92	0.00	0.00	0.00	0.14	0.29	5.08	1.73	0.14	1.96	0.34	0.95
sin/tra.	3.23	0.00	0.00	0.00	0.02	0.27	4.62	0.58	0.10	1.76	0.40	0.48
<i>Q. laurina</i>												
con/tra.	3.14	0.00	0.00	0.00	0.13	0.19	3.43	3.63	0.32	2.16	0.38	0.53
sin/tra.	2.86	0.00	0.00	0.00	0.05	0.21	3.43	6.46	0.21	1.46	0.30	0.59

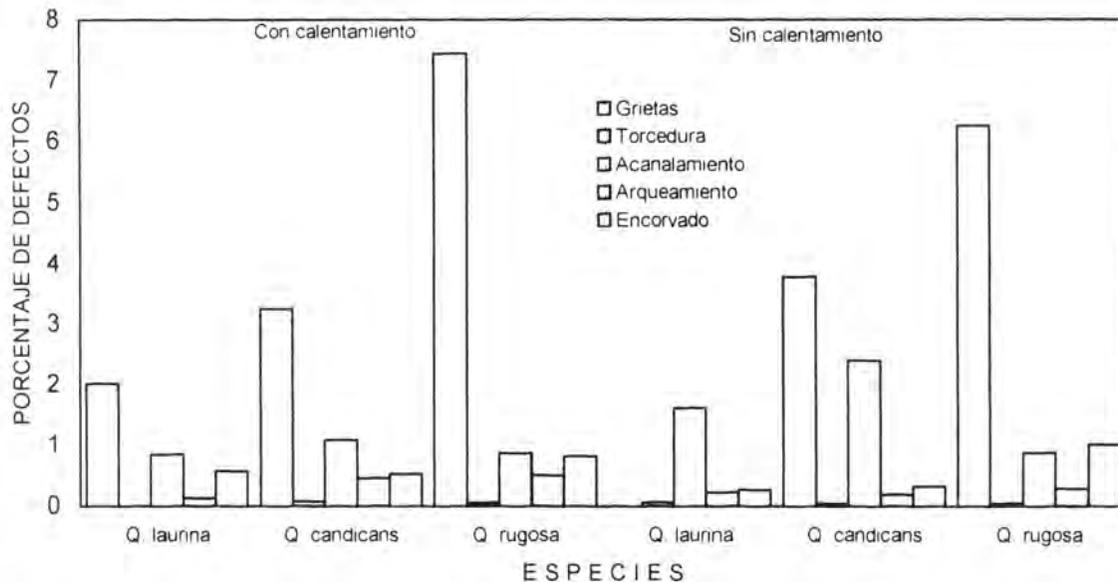


Figura 5. Desarrollo de defectos de la madera secada al aire libre con y sin tratamiento de calentamiento en agua

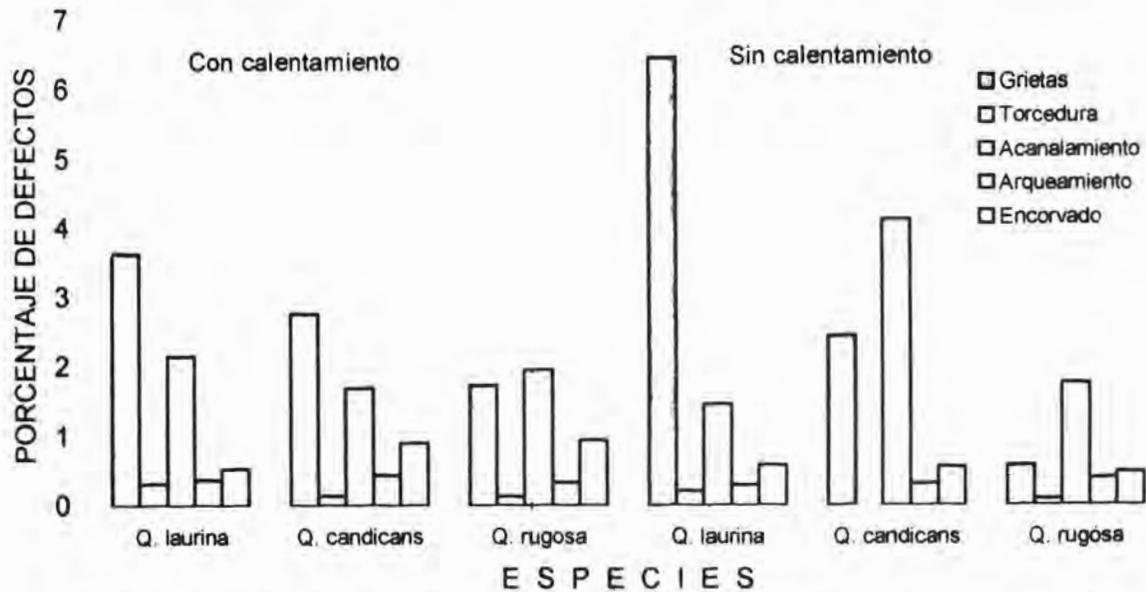


Figura 6. Desarrollo de defectos de la madera secada en estufa con y sin tratamiento de calentamiento en agua

se puede considerar sin efecto, indistintamente al tipo de defectos que se presentaron en la madera tratada y la testigo de las tres especies estudiadas. (Figura 6).

Se considera que el acanalamiento se debe a las diferencias de contracción entre la madera de albura y la de duramen de las tablas, y por el tipo de corte bastardo que se genera por la forma de aserrío de las trozas. Los defectos de torceduras, arqueamiento y encorvado, se presentan por la diferencia de contracciones de la madera en el sentido longitudinal, ocasionadas en parte por madera de tensión en las trozas de las especies estudiadas.

El aumento de estas deformaciones se refleja en el incremento del "número de unidades de corte" relacionados con la calidad de la madera. Respecto al efecto del tratamiento de calentamiento en el desarrollo de defectos en la madera, no se observó un efecto definido en las especies ni en el tipo de defectos para ambos sistemas de secado, al aire libre y en estufa; en contraste con lo que reporta Andrade (1990) para madroño, indicando que el calentamiento en agua favoreció la calidad de la madera.

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados concluye que la transferencia de calor fue similar entre las tres especies, *Q. candicans*, *Q. rugosa* y *Q. laurina*. No se manifestó diferencia en el tiempo de secado al aire libre y en estufa, entre la madera tratada con calentamiento y la testigo. El lapso de secado al aire libre fue de 71 días para lograr un CH de 12%, y el secado en estufa convencional se efectuó durante 17 días, hasta lograr un 8% de CH promedio.

Durante el secado al aire libre *Q. laurina* generó mejores resultados, incluso la madera sin tratamiento se comportó mejor que la tratada. El tratamiento fue favorable únicamente para *Q. candicans*. En el secado en estufa, la especie con mejores resultados fue *Q. rugosa*, y la madera testigo se comportó mejor que la tratada en relación a la pérdida de volumen de madera por defectos del secado.

Los defectos que repercutieron en forma más significativa en la pérdida de volumen de madera fueron las grietas, que en el secado al aire libre se acentuaron más en *Q. rugosa* y en el secado en estufa la más afectada fue *Q. laurina*. La especie con mejor comportamiento en el secado en estufa resultó *Q. rugosa*.

REFERENCIAS

- Andrade, A. 1990. Anatomía y secado de la madera de dos especies de madroño (*Arbutus xalapensis* y *Arbutus glandulosa*). Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana. 64 p.
- Bejar, M.G. 1963. Secado de la madera aserrada de encino. *Ciencia Forestal*. 42(8):37-63.
- Boone, R. S., Kozlik, J.C., Bois J.P. and Wengert, M.E. 1988. *Dry Kiln Schedules for Commercial Woods, Temperate and Tropical*. USDA, Forest Service. FPL-GTR-57. 158 p.
- Cuppett, G.D. and Craft, E.P. 1973. Kiln-drying of presurfaced 4/4 Appalachian oak. *Forest Prod. J.* 22(6):36-41.
- Dirección de Desarrollo Industrial (DDI), 1991. Proyecto de Norma de Clasificación de Madera Aserrada de Latifoliadas. Subsecretaría Forestal. SARH. México. 36 p.
- McMillen, M.J. and Baltés, C.R. 1972. New kiln schedule for presurface oak lumber. *Forest Prod. J.* 22(5):19-26.
- Dirección General de Normas (DGN), .NOM-EE-95-1980, Envase y Embalaje.-Madera.-Determinación de los defectos en maderas aserradas y cepilladas. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. México. 20 p.
- Harris, A.R., Schroeder, G.J. and Addis, C.S. 1989. Steaming of red oak prior to kiln-drying: effects on moisture movement. *Forest Prod. J.* 39(11/12):70-72.
- Hildebrand, R. 1970. Kiln drying of sawn timber. Germany. 199 p.
- McMillen, M.J. 1969. Accelerated kiln drying of pressurfaced 1- inch Northern red oak. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Paper FPL-122. 29 p.
- Pratt, G.H. 1974. Timber drying manual. Princes Risborough Laboratory. Dept. of the Environment. London. 152 p.
- Razo, R. 1990. Estudio del secado de varias especies de maderas nacionales mediante el sistema Moore. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana 161 p.
- Rietz, C.R. and Jenson, A.J. 1966. Pressurfacing green oak lumber to reduce surface checking. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Note FPL-0146. 2 p.
- Rietz, C.R. and Page, R.H. 1971. Air drying of lumber. USDA Agric. Handbook No. 188. Washington. D.C. 110 p.
- Simpson, T.W. 1974. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. *Wood Science*. 7(3):247-255.
- Simpson, T.W. 1975. Effect of presteaming on moisture gradient of Northern red oak during drying. *Wood Science* 8(4):272-276.
- Simpson, T.W. 1975. Steaming northern red oak to reduce kiln-drying time. *Forest Prod. J.* 26(10):35-37.
- Simpson, T.W. 1980. Accelerating the kiln drying of oak. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Paper FPL-378. 9 p.
- Simpson, T.W. 1991. Dry kiln operator's manual. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Agriculture Handbook No. 188. 274 p.
- Simpson, T.W. and Baltés, R.C. 1972. Accelerating oak air drying by pressurfacing. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Note FPL-0223. 12 p.
- Wengert, M. E. 1990. Drying oak lumber. University of Wisconsin- Madison. USA 167 p.
- Wengert, M.E. and Baltés, C.B. 1971. Accelerating oak drying by pressurfacing, accelerated schedules, and kiln automation. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Note FPL-0214. 10 p.
- Zavala, Z.D. y Hernández C. M.R. 1995. Análisis del secado al aire libre de la madera aserrada de pino, encino y alle. UMSNH. Ciencia y Tecnología de la Madera. No. 5. 15-23 p.