



Plantación de *Pinus caribaea* con 6,4 años de edad en clase de sitio III, en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. (W. Vásquez).

## CALIDAD DE SITIO *Pinus caribaea* EN LA YEGUADA, PANAMA

*Pinus caribaea* var. *hondurensis* es una de las coníferas más plantadas en el trópico y subtrópico, por su crecimiento rápido y adaptación a un ámbito amplio de sitios abajo de los 800 msnm (7).

En la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá, entre 1968 y 1982 se plantó un total de 1615 ha con esta especie. Los objetivos eran proteger la cuenca superior de los ríos San Juan y Barrero Grande, conservar los suelos y fomentar el manejo agroforestal (3). Estas plantaciones hasta la fecha no han recibido ningún manejo. El estado fitosanitario es bueno y la mortalidad por competencia entre árboles es baja ( $\leq 16\%$ ), debido quizás al espaciamiento utilizado (3 m x 3 m) y al crecimiento lento.

Una de las necesidades inmediatas para el manejo de estas plantaciones es el desarrollo de una técnica que permita la clasificación de las diferentes calidades de sitio. Este trabajo presenta los índices de sitio y la relación que existe entre ellos y los factores fisiográficos y edáficos que limitan el crecimiento de *P. caribaea* en La Yeguada.

### CARACTERÍSTICAS DEL SITIO Y MATERIAL EXPERIMENTAL

La reserva está localizada en Panamá, Provincia de Veraguas, 20 km al norte de pueblo de Calobre sobre la Cordillera Central, desde los 400 hasta los 1350 msnm. Ecológicamente se ubica en la zona de vida bosque muy húmedo premontano (bmh-P), con una precipitación media anual de 3470 mm distribuidos entre abril y diciembre, y una temperatura media anual de 22,6 °C. Los suelos corresponden a los órdenes Inceptisols, formados a partir de material coluvio-aluvial, y Ultisols y Entisols derivados de rocas ígneas ácidas, de menor fertilidad que los Inceptisols (3, 4).

El trabajo está basado en datos de 38 parcelas permanentes distribuidas en toda la plantación, con edades que oscilaron entre 5 y 20 años. El tamaño de parcela fue variable, desde 215 hasta 1088 m<sup>2</sup>; el número de árboles originales varió de 56 a 256, con espaciamientos desde 2 m x 2 m hasta 3 m x 3 m (la mayoría a 3 m x 3 m). Se midieron las variables de crecimiento dap, altura total de al menos un árbol por clase diamétrica de

2 cm de intervalo, la altura dominante definida como el promedio de los cien árboles más gruesos por hectárea, y algunas características de la forma del fuste y defectos. El análisis del suelo se hizo a tres profundidades hasta 50 cm. Otras variables analizadas fueron la profundidad efectiva en centímetros hasta donde aparece el material parental, el drenaje interno, la posición topográfica, la curvatura, la exposición de la parcela en grados, y la pendiente máxima, mínima y media en porcentaje sobre una distancia de 20 m. Las parcelas fueron medidas de tres a ocho veces, con intervalos de uno a dos años.

Con los datos de altura dominante y edad de cada parcela, y utilizando el programa SINDEK del Paquete Estadístico Palmer (PSP), se generaron curvas de evolución en altura dominante. Este programa ajusta curvas de pendiente común y de intercepto común utilizando los procedimientos delineados por Alder (1) con base en el trabajo de Bailey y Clutter (2), según el modelo de Schumacher.

Para determinar los principales factores que influyeron sobre el índice de sitio se utilizó el análisis de regresión múltiple por pasos.

#### INDICE Y CLASES DE SITIO

Los coeficientes de la curva promedio de evolución en altura dominante para las plantaciones de *P. caribaea* en La Yeguada, según el modelo de Schumacher, son:

$$\ln(h_{dom}) = 10,2958 - 10,1558/E^{0,1103} \quad (1)$$

$$R^2 = 63\%$$

El índice de sitio a la edad base de 15 años, que es la edad más próxima al turno de rotación alcanzada por la mayoría de las parcelas, fue estimado para cada parcela utilizando el modelo de pendiente común, según la siguiente ecuación:

$$\ln(IS) = \ln(h_{dom}) + 10,1558 (E^{-0,1103} - 15^{-0,1103}) \quad (2)$$

donde:

- 15: edad base seleccionada (años)
- Ln = logaritmo natural
- IS = índice de sitio a la edad base de 15 años en metros
- h<sub>dom</sub> = altura dominante en metros
- E = edad en años

Luego de estimar el índice de sitio para cada parcela, se obtuvieron las medidas de tendencia central para las 38 parcelas evaluadas, para agrupar los índices en clases de sitio (Cuadro 1).

Con un incremento medio anual en altura dominante que va desde 0,75 hasta 1,81 m/año a los 15 años de edad, los sitios en La Yeguada se clasifican como poco productivos. Ortega (5) y Tobar (6), para esta especie en Costa Rica y Venezuela, informaron de incrementos medios anuales en altura dominante de 1,5 y 1,6 m/año (en los sitios menos productivos), y de 2,0 y 2,4 m/año en los más productivos, a los 8 y 9 años respectivamente.

Cuadro 1. Medidas de tendencia central para el índice de sitio (edad base 15 años) de 38 parcelas permanentes de *P. caribaea* var. *hondurensis* en La Yeguada, Panamá.

$\bar{X}$ (m)	S (m)	CV (%)	Máximo (m)	Mínimo (m)	Modelo
16,80	3,44	20,49	27,14	11,37	2

— = media  
S = desviación estándar de la media  
CV = coeficiente de variación.

La Figura 1 muestra la evolución promedio en altura dominante para diferentes países donde esta especie se ha plantado como exótica, esta confirma la productividad baja de los sitios en La Yeguada.

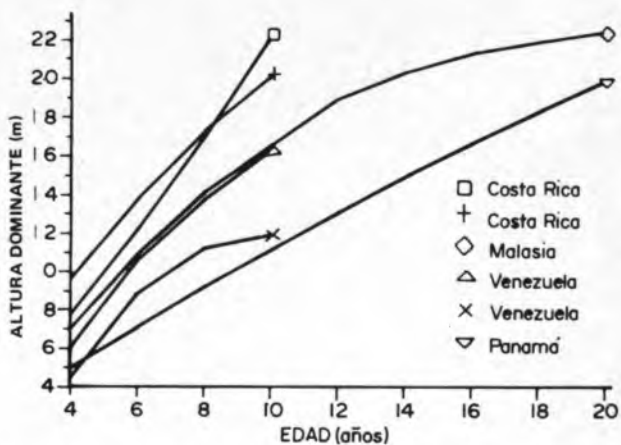


Fig. 1. Evolución de la altura dominante para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en diferentes países.

Luego de probar diferentes ámbitos de índices de sitio y tomando en consideración el incremento en altura dominante y el tamaño de las plantaciones en La Yeguada, se agruparon las parcelas en cuatro clases de sitio usando un ámbito de 3 m. Por la gran variación de los sitios debido a las condiciones topográficas de la Reserva, es recomendable que el número de clases de sitio a definir sea bajo, pues un número alto dificulta el mapeo y el manejo posterior de unidades pequeñas, aunque la predicción del rendimiento sería más precisa con una cantidad mayor de clases. El Cuadro 2 muestra los límites de las cuatro clases de sitio identificadas.

Las clases de sitio I y IV fueron definidas abiertas para obtener un máximo de cuatro clases de sitio. Sin embargo, la existencia de dos parcelas (CREC.015 y CREC.016) con índice de sitio de 27 y 26 m en la clase de sitio I, evidencia que existe una clase de sitio mejor, la cual por falta de parcelas permanentes no fue posible determinar adecuadamente.

**Cuadro 2. Ámbitos de las cuatro clases de sitio determinadas para *P. caribaea* var. *hondurensis* en La Yeguada, Panamá**

Clase de sitio	Ámbito (m)
I	$\geq 21,0$
II	18 - 20,9
III	15 - 17,9
IV	$\leq 14,9$

Ámbito = altura dominante a los 15 años.

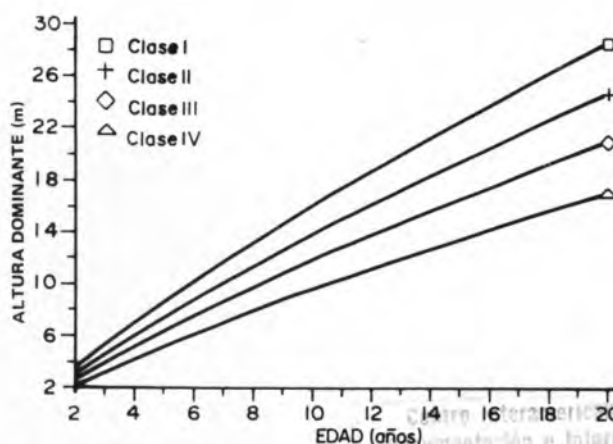
La Figura 2 muestra la curva de crecimiento en altura dominante, la cual corresponde al punto medio de cada clase de sitio (I = 22,5, II = 19,5, III = 16,5 y IV = 13,5 m), y cuyas ecuaciones de pendiente común son:

$\ln(\text{hdom}) = 10,6469 - 10,1558 / E_i 0,1103$	I
$\ln(\text{hdom}) = 10,5038 - 10,1558 / E_i 0,1103$	II
$\ln(\text{hdom}) = 10,3368 - 10,1558 / E_i 0,1103$	III
$\ln(\text{hdom}) = 10,1361 - 10,1558 / E_i 0,1103$	IV

A manera de ejemplo, para calcular el índice y la clase de sitio de una plantación homogénea de 8 años de edad y con una altura dominante de 7,5 m, sustituyendo este valor en la ecuación 2 se tiene:

$$\begin{aligned} \ln(\text{IS}) &= \ln(7,5) + 10,1558(8 - 0,1103 - 15 - 0,1103) \\ \ln(\text{IS}) &= 2,014903 + 10,1558(0,053257) \\ \ln(\text{IS}) &= 2,555770 \\ \text{IS} &= 12,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Con este índice de sitio que se interpreta como la altura dominante que tendrá el rodal a los 15 años de edad y utilizando el Cuadro 2, se puede concluir que la plantación corresponde a la clase de sitio IV.



**Fig. 2. Curvas de pendiente de la evolución en altura dominante por clase de sitio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en La Yeguada, Panamá.**

### FACTORES DETERMINANTES EN EL CRECIMIENTO DE LA ESPECIE

El Cuadro 3 muestra los tres modelos que mejor explicaron la variación del índice de sitio, utilizando el análisis de regresión múltiple por pasos. Al aplicar estos modelos el técnico forestal será capaz de extrapolar la calidad del sitio a las áreas potenciales de la reserva aún sin plantar.

El modelo 3 relacionó el IS de las 38 parcelas con las características fisiográficas; se observó que la posición topográfica (PT) explica el 41% de la variación del IS. Según esto, los sitios mejores se encuentran ubicados en el fondo de los valles al pie de los cerros. Esta característica define en forma indirecta otras propiedades del suelo como la profundidad, la disponibilidad de elementos químicos y de agua. El drenaje interno, la elevación y la pendiente máxima, que mostraron correlación significativa ( $P \leq 5\%$ ) con el índice de sitio, no contribuyeron al ajuste del modelo.

**Cuadro 3. Regresiones para estimar el índice de sitio en función de las características fisiográficas, físicas y químicas para *P. caribaea* var. *hondurensis* en La Yeguada, Panamá.**

Fc	R <sup>2</sup> ajust. (%)	S	Ecuación	Variabes incluidas	Modelo
26,45 ***	41	26,37	$\text{IS}(\text{dm}) = 118,9706 + 21,6176 \text{ PT}$	Fisiográficas	3
43,92 ***	94	4,64	$\text{IS}(\text{dm}) = 279,5315 + 5,9326 \text{ DR} + 82,0153 \text{ pH5} + 0,5913 \text{ Mn5} - 4,3753 \text{ Zn5} + 7,8426 \text{ Cu5}$	Físicas y químicas	4
86,36 ***	90	8,43	$\text{IS}(\text{dm}) = 155,7363 + 18,4412 \text{ PT} - 1,2354 \text{ Limo50}$	Fisiográficas y físicas	5

Los símbolos y sus ámbitos de validez son:

- IS = índice de sitio
- PT = posición topográfica (1 = cima, 2 = pendiente superior, 3 = pendiente inferior, 4 = fondo)
- DR = drenaje interno (1 = sin drenaje, 2 = muy lento, 3 = lento, 4 = medio, 5 = rápido, 6 = muy rápido)
- pH5 = acidez hasta 5 cm de 4,3 a 5,5
- Mn5 = contenido de Mn hasta 5 cm de 2,6 a 51,8 ug/ml
- Zn5 = contenido de Zn hasta 5 cm de 0,2 a 5,7 ug/ml
- Cu5 = contenido de Cu hasta 5 cm de 0,8 a 3,3 ug/ml
- Limo 50 = porcentaje de limo de 30 a 50 cm de 16 a 54%
- S = desviación estándar de la media. \*\*\* = significativo al 0,1%

El modelo 4 incluyó el drenaje interno (DR), el pH, y los contenidos de Mn, Zn y Cu hasta 5 cm de profundidad del suelo. Aunque este modelo logró explicar el 94% de la variación del índice de sitio, las pequeñas diferencias entre clases de sitio para los contenidos de Mn, Zn y Cu no parecen significativas desde el punto de vista práctico. La calidad de sitio varía en forma proporcional positiva para todas las variables, con excepción del contenido de Zn que influye en forma negativa.

El modelo 5 incluyó la posición topográfica (PT); y el contenido de limo de 30 a 50 cm de profundidad, y explicó un 90% de la variación del índice de sitio. El contenido de limo a esta profundidad limita y afecta el crecimiento del pino en forma negativa, por la formación de capas poco permeables que impiden el desarrollo normal de raíces.

Desde el punto de vista práctico, el modelo 5 parece mejor, ya que al incluir dos variables de sitio es posible determinar el índice y la clase de sitio con suficiente precisión. Así por ejemplo, si se desea conocer el crecimiento posible del pino en un área donde no hay bosque, ubicada en la parte inferior de la pendiente (PT = 3), y con un contenido de limo de 28% entre 30 y 50 cm de profundidad; utilizando la ecuación 5 del Cuadro 3 se obtiene:

$$IS \text{ (dm)} = 155,7363 + 18,4412 * 3 - 1,2354 * 28$$

$$IS \text{ (dm)} = 176 \text{ o } 17,6 \text{ m}$$

Este corresponde a la clase de sitio III (Cuadro 2), con una altura dominante de 17,6 m a los 15 años de edad.

## CONCLUSIONES

Comparativamente con otros sitios donde esta especie se ha plantado como exótica, el crecimiento del *P. caribaea* var. *hondurensis* en La Yeguada se puede clasificar como bastante bajo. Sin embargo, se debe enfatizar que ha sido la especie que mejor se ha adaptado a estas condiciones de suelos degradados.

Bajo condiciones de suelo y clima similares a las de La Yeguada, y dentro del ámbito de validez de las ecuaciones generadas, el técnico forestal será capaz de clasificar la calidad de los sitios, no sólo de los terrenos con bosque sino de aquellas áreas dispuestas para reforestaciones futuras con esta especie.

La ventaja de concentrar los esfuerzos del manejo sobre los mejores sitios, se verá traducida en un mayor y mejor rendimiento, reducción del turno de rotación y una respuesta mayor a los tratamientos silviculturales.

Como primer paso para la ordenación adecuada del área de plantaciones en la Reserva, es recomendable que se elabore el mapa correspondiente de clases de sitio a través de un inventario forestal.

## BIBLIOGRAFIA

1. ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. 2. Predicción del rendimiento. Roma, FAO. 80 p. (Estudio FAO: Montes 22/2).
2. BAILEY, R.L.; CLUTTER, J.L. 1974. Base age invariant polymorphic site curves. Forest Science (EE.UU.) 20: 155-159.
3. FAO (PANAMA). 1980. Evaluación de ensayos y selección de especies para reforestaciones en Panamá. Panamá, PNUD/FAO/PAN/79/003. 130 p. (Documento de trabajo No. 9).
4. FAO (PANAMA). 1984. Plan de manejo de las plantaciones de la Reserva Forestal La Yeguada. Panamá, PNUD/FAO/PAN.82/004. 168 p. (Documento de trabajo No. 13).
5. ORTEGA B., H. 1986. Factores edáficos y topográficos que determinan la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Pavones, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 108 p.
6. TOBAR V., A. 1976. Evaluación de la calidad de sitio de las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en relación a los factores edáficos en Cachipo, Edo. Monagas, Venezuela. Tesis Mag. Sc. Mérida, Ven., Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 169 p.
7. WHITMORE, J.L.; LIEDEL, L.H. 1980. Spacing trial of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. USDA, Forest Service Research paper, Southern Forest Experiment Station No. 50-162. 8 p.

**Agradecimiento:** El autor agradece al personal técnico destacado en La Yeguada; a los funcionarios de INRENARE y de CATIE que colaboraron con la instalación, medición y grabación de los datos.

Extracto por el

mismo autor de VASQUEZ C., W. 1987. Desarrollo de índices de sitio y selección de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 113 p.

Revisión  
Ian Hutchinson  
Héctor Martínez

Edición  
Elizabeth Mora