

INFLUENCIA DEL ESPACIAMIENTO INICIAL EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR. *CARIBAEA* BARRETT Y GOLFARI SOBRE LA ALTURA DOMINANTE

ING. JUAN MIGUEL MONTALVO GUERRERO,¹ ING. JOSÉ ANTONIO BRAVO IGLESIAS,¹
LIC. MAGALY HERRERA VILAFRANCA² Y LIC. LOURDES RODRÍGUEZ SHADE²

¹ Instituto de Investigaciones Forestales. Calle 174 no. 1723
e/ 17B y 17C, reparto Siboney, Playa, La Habana,
jmmg@forestales.co.cu

² Instituto de Ciencia Animal. Carretera Central Km 47½,
San José de Las Lajas, La Habana

RESUMEN

En la mayoría de las condiciones de sitio, el espaciamiento influye en el rendimiento final mucho más que el raleo, y tiene además que ver con el objetivo de la plantación. Por tal razón se estudió la influencia del espaciamiento inicial sobre el crecimiento y el rendimiento de Pinus caribaea Morelet var. caribaea. Barrett y Golfari. Se montó un experimento en bloques completos al azar con tres repeticiones y ocho tratamientos definidos por el espaciamiento entre planta de 2,0 x 2,0 m; 2,0 x 2,5 m; 2,0 x 3,0 m; 3,0 x 2,5 m; 3,0 x 3,0 m; 4,0 x 2,0 m; 4,0 x 2,5 m y 4,0 x 3,0 m. Se probaron nueve funciones (modelos) de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal, siendo los de mejores ajustes para la altura dominante la Hossfeld IV y Yoshida I. El análisis de varianza mostró que para la altura dominante no hay diferencia significativa entre los espaciamientos.

Palabras claves: *espaciamiento inicial, funciones de crecimiento e incremento, Pinus caribaea var. caribaea.*

ABSTRACT

In most of the site conditions, the spacing influences in the final yield much than the thinning and also, it has to see with the objective of the plantation, for that reason was studied the influence of the initial spacing on the growth and the yield of Pinus caribaea Morelet var. caribaea. Barrett and Golfari. It settled down an experiment at random in complete blocks with three repetitions and eight treatments defined by the spacing among plant of 2,0 x 2,0 m; 2,0 x 2,5 m; 2,0 x 3,0 m; 3,0 x 2,5 m; 3,0 x 3,0m; 4,0 x 2,0 m; 4,0 x 2,5 m and 4,0 x 3,0 m. Nine functions were proven (models) of application growth in the forest environment, being those of better adjustment for the dominant height the Hossfeld IV and Yoshida I. The variance analysis showed that for the dominant height there is not significant difference among the spacings.

Key words: *initial spacing, functions of growth and increment, Pinus caribaea var. caribaea.*

INTRODUCCIÓN

El crecimiento es el incremento gradual de un organismo, población u objeto en un determinado período de tiempo. El crecimiento acumulado hasta una edad determinada representa el rendimiento a esa edad; su estimación es una etapa esencial en el manejo forestal. El concepto básico de recurso renovable se deriva de la propiedad de crecimiento, y cualquier planificación encierra el concepto de predicción de crecimiento [Prodan *et al.*, 1997].

Las funciones o ecuaciones de crecimiento describen o predicen las variaciones que experimentan el tamaño de un organismo o una población con la edad. El crecimiento biológico, que es el resultado de un gran número de procesos complejos, puede resumirse de una forma muy simple, particularmente cuando el organismo o población analizada es un árbol o una masa forestal. Si se representa la evolución en el tamaño –diámetro, altura, área basal, volumen, etc.– de un árbol o de una masa forestal a lo largo de su vida se obtiene una curva denominada *sigmoide*, cuyo patrón se mantiene estable, con independencia de la especie de que se trate o de los cambios y fluctuaciones del entorno en que se desarrolle. La curva sigmoide presenta dos características fundamentales que derivan de la interacción entre los dos factores opuestos que condicionan el crecimiento: tiene un punto de inflexión y una asíntota horizontal [Kiviste *et al.*, 2002].

El objetivo de este trabajo es el estudio de la influencia del espaciamiento

inicial sobre el crecimiento y el rendimiento de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Barrett y Golfari sobre altura dominante y su predicción con el uso de funciones de crecimiento y rendimiento en San Pedro de Mayabón, provincia de Matanzas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio utilizado para el estudio está ubicado en Cayo Mamones, San Pedro de Mayabón, provincia de Matanzas. Las características edafoclimáticas de la localidad son:

- *Altitud*: 70 m.s.n.m.
- *Topografía*: Llana.
- *Suelo*: Fersialítico pardo rojizo.
- *Vegetación secundaria*: Peralejo, Vacabüey, Marabú, Gramíneas.
- *Precipitación anual*: 1450 mm.
- *Período más lluvioso*: mayo-octubre.
- *Período menos lluvioso*: noviembre-abril.
- *Temperatura media anual*: 24,9°C

Se cultivaron las posturas en vivero. La plantación fue precedida de un desbroce, quema y subsolado con el subsolador Saca-Fas 1, tirado por un tractor T-100. La plantación se efectuó en agosto de 1973. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres réplicas.

Por cada tratamiento se plantó una parcela de 1600 m², siendo la parcela útil de 400 m², en la cual se tomaron las alturas de todos los árboles de la parcelas de muestreo permanente entre 1973 y 1994. La altura dominante se obtuvo tomando las alturas de los 100 árboles más gruesos por hectárea.

Tratamientos probados

No.	Marco de plantación (m)	Área vital (m ²)	Relación largo-ancho	Árboles por hectárea
01	2,0 x 2,0	4,0	1:1	2500
02	2,0 x 2,5	5,0	1:1,2	2000
03	2,0 x 3,0	6,0	1:1,5	1666
04	3,0 x 2,5	7,5	1,2:1	1333
05	3,0 x 3,0	9,0	1:1	1111
06	4,0 x 2,0	8,0	2:1	1250
07	4,0 x 2,5	10,0	1,6:1	1000
08	4,0 x 3,0	12,0	1,3:1	833

Se probaron nueve funciones de crecimiento y rendimiento reportadas por la literatura [Prodan *et al.*, 1997; Casañas, 2000; Sánchez Rodríguez, 2001; Kiviste *et al.* 2002].

Hossfeld I
$$y = \frac{t^2}{a + b \times t + c \times t^2}$$

Strand
$$y = \left[\frac{t}{a + b \times t} \right]^3$$

Hossfeld IV
$$y = \frac{t^2}{a + b \times t^c}$$

Yoschida I
$$y = \frac{t^c}{a + b \times t^c} - d$$

Levakovich II
$$y = a \times \left[\frac{t}{b + t} \right]^c$$

Terazaki
$$y = e^{a - b/t}$$

Korf
$$y = e^{a - b/t^c}$$

Gemesi
$$y = e^{1/(a + b \times t) - 1}$$

Gompertz
$$y = e^{a - b \times e^{-c \times t}}$$

a, b, c: Parámetros.
t: Edad.

y se comprobaron con los estadísticos:

- *Coficiente de determinación (R²):* Declara qué porciento de la variación de la variable dependiente es explicada por las variables predictoras.
- *Error estándar de la estimación (S_{xy}):* Es la raíz cuadrada del cuadrado medio residual del Anova de la regresión.
- *Sesgo:* Evalúa la desviación del modelo con respecto a los valores observados.
- *Error medio cuadrático:* Analiza la precisión de las estimaciones.
- *Error medio en valor absoluto:* Da una idea de la magnitud media de los errores independientemente de su signo.

Se empleó un nivel de significación del 1% para el análisis de varianza para los diferentes tratamientos y el Anova de las regresiones, con el paquete estadístico Statgraphics Plus 5.1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la *Tabla 1* muestran que la altura dominante no está influida por el espaciamiento, en contraste con lo planteado por Alder (1980), que ciertas especies como

Pinus caribaea, sin precisar la variedad, varían notablemente su creci-

miento en altura según el espaciamiento.

TABLA 1
Análisis de varianza de los diferentes espaciamientos sobre la altura dominante

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	P-valor
Espaciamiento	0,162917	7	0,0232738	0,37	0,9056
Réplica	0,13	2	0,065	1,03	0,3825
Error	0,88333	14	0,0630952		
Total	1,17625	23			

Los valores estadísticos que se muestran en la *Tabla 2* son bastante similares para todos los modelos respecto al coeficiente de determinación (R^2), por lo que pudiera pensarse que todos los modelos son adecuados para explicar el ajuste; sin embargo, cuando se analiza el error estándar de la estimación (S_{xy}) los modelos de Tarazaki y Gemesi difieren con respecto a los otros. Los modelos de Strand, Levakovich II, Terazaki, Korf., Gemesi y Gomperz reflejan altos porcentos de sesgo. Referente al error medio cuadrático, los modelos de Terazaki, Gemesi y Gompertz muestran altos valores, así como los Strand, Lavakovich II, Terazaki, Korf, Gemesi y Gompertz para el error medio absoluto. Después de este análisis los modelos que presentan mejores estadígrafos son Hossfeld I, Hossfeld IV y Yoschida I.

Al analizar el comportamiento biológico que debe manifestar *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la zona de San Pedro de Mayabón se analiza la asíntota horizontal, el punto de inflexión y el tiempo (edad) en que se igualan el incremento corriente

anual y el incremento medio anual (*Tabla 2, Fig.*), percibiéndose que los modelos que mejor se adaptan a la tendencia media de los datos son Hossfeld IV y Yoschida I, con una asíntota horizontal de 33,7 m y 33,8 m. Se corroboran los resultados de Grá *et al.* (1990), quienes plantean que el índice de sitio para San Pedro de Mayabón oscila entre 31 y 33 m. En la *Fig.* se presenta una curva sigmoide utilizando como predictores los modelos Hossfeld IV y Yoschida I, que describen la evolución con el tiempo del incremento medio anual (IMA) de la altura dominante, junto con la curva que corresponde al incremento corriente anual (ICA) de esa variable. Se puede apreciar que inicialmente en las primeras edades el crecimiento se dispara dado por el peso de los factores positivos –potencial biótico del individuo, de su actividad fotosintética, de la absorción de nutrientes, de los procesos catabólicos y anabólicos, etc.–, dando lugar a una curva de evolución cóncava hacia arriba. A medida que se desarrollan los individuos las restricciones –competencia con otros organismos, limitaciones de recursos,

procesos respiratorios y estrés- van aumentando, de tal manera que se llega a producir un cambio en la curvatura de la gráfica de evolución (se produce un punto de inflexión a los 6,2 años), que se corresponde con el valor máximo de la curva de crecimiento corriente. A partir de ese momento, y puesto que siguen aumentando las restricciones, el crecimiento disminuye paulatinamente, por lo cual los valores de ICA dentro de un año comienzan a descender, siendo a los 11,2 años donde se igualan el incremento medio anual (IMA) y el incremento corrien-

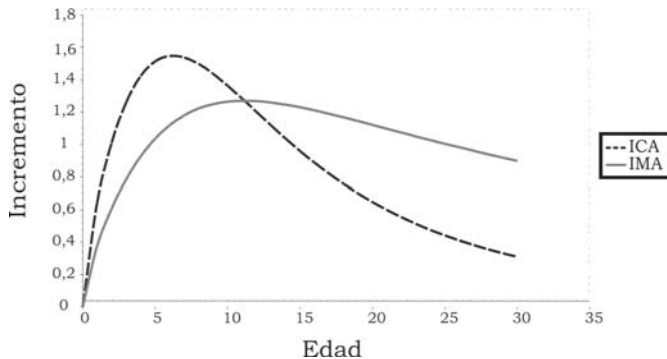
te anual (ICA). De ella se puede derivar el desarrollo general del incremento medio anual en relación con la curva de incremento corriente anual. Hasta su punto de culminación el incremento medio anual está bajo el incremento corriente anual. Después del punto de culminación está sobre él. El máximo del incremento corriente anual en ningún tiempo es alcanzado por el incremento medio anual. Mientras el IMA del año siguiente sea mayor que el del año anterior, también el ICA es mayor que el IMA y viceversa.

TABLA 2
Estadísticos de ajuste de los modelos y predicciones biológicas

<i>Modelo</i>	R^2 (%)	S_{xy}	<i>Sesgo</i> (%)	<i>EMC</i>	<i>Error medio absoluto</i> (%)	<i>Asíntota horizontal</i> (m)	<i>Punto de inflexión</i> (años)	<i>Tiempo ICA = IMA</i> (años)
Hossfeld I	99,7	0,42	-0,07	0,17	9,2	52,4	7,2	10,6
Strand	99,8	0,39	13,8	0,15	16,9	45,2	5,3	10,5
Hossfeld IV	99,8	0,38	2,55	0,15	8,1	33,7	6,2	11,2
Yoshida I	99,8	0,39	2,6	0,15	8,1	33,8	6,2	11,2
Levakovich II	99,8	0,38	10	0,15	14,2	46,5	5,3	10,6
Terazaki	99,3	0,66	31,8	0,44	34	36,8	5,2	10,3
Korf	99,7	0,42	15,2	0,17	19,5	78,5	4,5	10,1
Gemesi	99,5	0,59	-26,3	0,35	28,8	57,4	8,5	10,7
Gompertz	99,5	0,38	-26,3	0,35	28,8	?	7,7	10,5

ICA: Incremento corriente anual.

IMA: Incremento medio anual.



Edad vs. incremento (modelo Hosfeld IV y Yoscida I)

CONCLUSIONES

- La altura dominante no está influida por el espaciamiento en *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la localidad de San Pedro de Mayabón.
- En conjunto, los modelos que mejor se adaptan a la tendencia media de los datos de altura dominante-edad de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en San Pedro de Mayabón son Hosfeld IV y Yoscida I, con una asíntota horizontal de 33,7 y 33,8 m respectivamente, y que mejor describen el comportamiento biológico de la especie en la localidad de estudio.
- El valor máximo de crecimiento corriente corresponde a los 6,2 años de edad. A partir de ese momento el crecimiento disminuye paulatinamente.
- A los 11,2 años se igualan el incremento medio anual (IMA) y el incremento corriente anual (ICA), pero el máximo del incremento corriente anual en ningún tiempo

es alcanzado por el incremento medio anual.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDER, D.: *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento vol. 2-predicción del rendimiento*, FAO, Roma, 1980.
- CASAÑAS, N.: «*Pinus pinea* L. en el sistema central (valles del Tiétar y del Alberche): desarrollo de un modelo de gestión y producción de piña», tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad de Madrid, 2000.
- GRÁ ET AL.: «Informe de etapa 509-09.24. Confeción de tablas de volumen, surtido y densidad del *Pinus caribaea* en plantaciones puras para Cuba», 1990.
- KIVISTE ET AL.: *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*, Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, 2002.
- PRODAN ET AL.: *Mensura Forestal. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible*, San José, Costa Rica, 1997.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, F.: «Estudio de calidad de estación, crecimiento, producción y silvicultura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia», tesis doctoral, Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela, 2001.