

DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE RALEOS POR ÍNDICES DE SITIOS PARA PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS* SP. EN PINAR DEL RÍO

Dr. Pedro A Álvarez-Olivera y M.Sc. Ilya María García-Corona
Universidad de Pinar del Río. Calle Martí 270 esq. A 27 de
Noviembre, Pinar del Río, florenci@af.upr.edu.cu;
ilia@af.upr.edu.cu.

RESUMEN

Fueron tomadas muestras dendrométricas en plantaciones de *Eucalyptus saligna* Sm y *E. pellita* F. Muell. en las empresas forestales integrales de La Palma, Pinar del Río y Macurijes, mediante el método de la parcela-árbol, para un total de 363 ejemplares de diferentes edades e índices de sitio. Se aplicó el rango de porcentaje de copa correspondiente a la clase de desarrollo de cada árbol medido, así como los demás indicadores de vigor y forma para la selección positiva de árboles como candidatos al vuelo principal para el turno mínimo de quince años como premisa de manejo. Para la predicción de la producción fueron usados los modelos matemáticos de la ecuación de Schumacher [según Alder, 1980]. Los resultados demuestran que serán necesarios tres raleos para el índice de sitio 24, dos raleos para los índices de sitio 21 y 18, y un solo raleo para el índice de sitio 15, para el turno mínimo de quince años. En el trabajo se presentan además las tablas de producción calculadas para los índices de sitio existentes y la tabla de surtidos para el producto de los raleos. Con la aplicación de los resultados de este trabajo se pueden perfeccionar los tratamientos

ABSTRAC

Were measured 363 trees from different ages and site index localities by less sample plots method, in plantations of *Eucalyptus saligna* Sm and *E. pellita* F. Muell settled in three forest enterprises: La Palma, Pinar del Río and Macurijes. Crown average was used as indicator of measurable trees, as also stem form, health and vigor of trees. Rotational cycle of felling was fixed at age 15. For yield prediction the Schumacher's formula was used (see Alder, 1980). The paper outcomes that index site 24 needs three thinnings, two thinnings are necessary for index site class 21 and 18, while site index 15 needs only a singular thinning. Yield tables were calculated for all site index class and assortments products of thinning tables are added. Silvicultural treatments were being effective if yield tables by site class obtained in this work are used.

Key words: *Eucalyptus* sp., growth modeling, sites index, yield tables, thinning

silvícolas para los objetivos productivos de los fustales de eucaliptos, en las empresas que plantan estas especies en la provincia de Pinar del Río.

Palabras clave: *Eucalyptus sp.*, modelos de crecimiento, índices de sitios, tablas de producción, raleos

INTRODUCCIÓN

En Cuba las plantaciones para fustales de eucaliptos (*Eucalyptus saligna* Sm y *E. pellita* F. Muell.) están destinadas a postes para tendidos eléctricos y telefónicos y para la construcción y reparación de casas de secar tabaco negro [Betancourt, 1987].

Como antecedente de los estudios sobre índices de sitios para plantaciones forestales en Cuba, el autor realizó una investigación en 1983 en la asesoría de una Tesis de Diploma sobre el asunto en *Pinus caribaea* [Álvarez y Varona, 1997]. Peñalver (1991) formuló tablas de producción para índices 15, 18, 21, 24, 27 y 30 m para el turno de veinte años de *Eucalyptus sp.* para la provincia de Pinar del Río; sin embargo, cambios en la demanda actual hacen que los turnos sean más cortos, pero teniendo en cuenta que los árboles mejores lleguen a la edad del turno y no entresacar los mejores por lo alto desde edades tempranas [Dominguez, 2005]. Para uso masivo sin raleos, Rezende *et al.* (1998) y Souza *et al.* (2004) estiman la productividad de los sitios por el incremento medio anual, en $m^3/ha.año^{-1}$, por h media y no por h_0 (dominantes). Por lo tanto, los objetivos de este trabajo son:

a) Establecer los índices de sitios para turnos de quince años.

- b) La determinación de la relación d:Ac para las especies *E. saligna* y *E. pellita* en las condiciones edafoclimáticas de la provincia.
- c) La confección de las tablas de producción a partir de la función de la fórmula de Schumacher [según Alder, 1980], con la indicación de los raleos por índices de sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Por consultas y observaciones previas se consideró que para los fines de este trabajo, no había diferencias fenotípicas suficientes para diferenciar el tratamiento para *Eucalyptus saligna* y para *E. pellita* en los suelos ferralíticos lixiviados donde son plantados, por lo que los datos se tomaron indistintamente en unas y otras plantaciones.

Para el muestreo se siguió el método de la parcela-árbol, como variante del *less sample plots method*, según Prodan y col. (1997).

Para que un árbol-parcela reuniese las condiciones de elegible en este muestreo, debió reunir las condiciones siguientes:

- Su índice de copa tenía que estar en el rango biológico de desarrollo (*Tabla 1*).
- No estar en el borde del rodal por desigual desarrollo de la copa y su asimetría.

- Tener un diámetro por encima de la media, o sea, ser de los árboles más gruesos para conformar la muestra *ho*.
- Tener fenotipo prometedor, buen vigor y estado sanitario, libre de daños por enfermedades, plagas o incendios.

TABLA 1
Índices de copa según la fase de desarrollo de los árboles
[según Álvarez y Varona, 1997]

<i>Fase de desarrollo</i>	<i>Clases diamétricas (cm)</i>	<i>Índice de copa (%)</i>
Latizal bajo	8-12	65-60
	14-18	59-55
Latizal alto	20-24	54-50
	26-30	49-44
Fustal bajo	32-36	43-40
	38-42	39-35
Fustal medio	44-54	34-30
Fustal maduro	56-70 (+)	29-25 (-)

A cada árbol-parcela se le midieron sus parámetros dendrométricos y la distancia al árbol vecino en cada cuadrante para conformar su espacio vital y estimar *N* por la fórmula *b*. Se tomaron muestras estratificadas en diferentes localidades y edades de los rodales en:

- Empresa Forestal Integral la Palma (localidad de Barrabás).
- Empresa Forestal Integral Pinar del Río (en las localidades de La Ceniza, Siete Matas, el puente de la Sala Polivalente, Vivero Las Taironas y rodales de la Autopista).
- Empresa Forestal Integral Macurijes (en la localidad de El Perico).

A cada árbol se le tomó el diámetro normal, la altura total, el índice o porcentaje de copa, el ancho de copa y las distancias medias a los árboles veci-

nos. Los datos fueron procesados en tabulador electrónico Microsoft Excel y se usaron las siguientes fórmulas:

$$g = \pi / 4 \times d^2 \quad [1]$$

$$N = 10\,000 / A \times c^2 \quad [2]$$

$$G = g \times N \quad [3]$$

$$IMA = V / A \quad [4]$$

$$V = \pi / 4 [d / 100]^2 \times h + 3 \times f \times N \quad [5]$$

donde

g = área basal individual

N = árb/ha

G = m²/ha

IMA = m³/ha x año

V = m₃/ha

A = edad

V = volumen/ha

f = factor mórfico

La construcción de curvas de índices de sitios fue realizada por el método

de análisis de regresión, con el modelo de crecimiento en altura basado en la ecuación de Schumacher, según Alder (1980):

$$Ho = h_{max} \exp [b/A^k] \quad [6]$$

donde:

ho = altura dominante

hmax = parámetro a ser ajustado, que representa la máxima altura que la especie puede alcanzar

exp () = notación matemática para indicar que la expresión dentro del paréntesis es el exponente de la constante

e = 2,71828

b, k = parámetros para ser ajustados
A = edad del rodal.

Primeramente se introdujeron al computador los datos de altura de los árboles muestreados, seguidamente se analizó el conjunto con la ayuda del paquete estadístico Sta-win para buscar el valor de k que más se ajustaba a la ecuación. El valor que más se ajustó fue 1.8, y se utilizaron logaritmos de base e (\ln). Sustituyendo a ambos lados de la ecuación anterior se tiene que

$$\ln ho = \ln hmax + [b/A^k] \quad [7]$$

Usando los valores de los coeficientes de intersección y de variable x_1 a la ecuación, se tiene

$$\ln ho = 3,1111 + [-13,7535/A^{1,8}] \quad [8]$$

siendo esta la ecuación guía para el trazado de las demás curvas de diferentes índices de sitios. Si [8] se define como la altura dominante del rodal a una edad A dada $A_1 = 15$ años, el parámetro de la curva que pasa por esa edad a_1 estará dado por

$$A1 = \ln S - b/A^k \quad [9]$$

donde

b y k provienen de la ecuación anterior.

La dependencia del ancho de las copas Ac con el diámetro d de los fustes se obtuvo mediante la gráfica de correlación entre ambos parámetros.

Para determinar cada raleo se utilizó la fórmula [2] y la gráfica de correlación d - Ac , según Stephan (1980). Al comparar dos grupos de edad diferentes e igual índice de sitio se estimó cuál sería el incremento diamétrico medio anual, que por principio silvícola su acumulación debe ser semejante a una línea recta, es decir, que es eso precisamente lo que debe conseguirse mediante los raleos.

Según los antecedentes citados, se eligieron índices de sitio (I_{15}) entre 24 m como altura media dominante de los mejores sitios para tal turno, y de I_{15} de 15 m para los peores sitios donde debe cultivarse el eucalipto para fustales raleados.

Aplicando el modelo matemático de Schumacher para los datos reales de campo, se obtuvo el abanico de curvas de índices de sitio, y a partir de este y de la gráfica $d_{1,3}$ - Ac se confeccionaron las tablas de producción con sus necesarios raleos indicados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso del método de muestreo de la parcela-árbol demostró ser útil para los fines prácticos del manejo del monte alto regular de eucaliptos. Con la aplicación de la ecuación de Schumacher se obtuvo el abanico de curvas de índices de sitios de la Fig. 1.

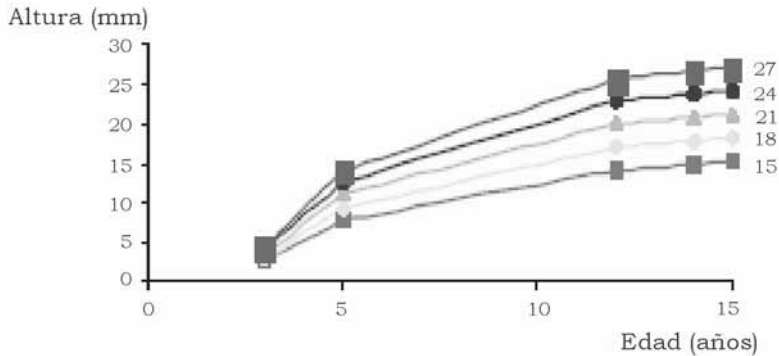


Fig. 1. Índices desitios para la edad atrón de quince años.

En las *Tablas 2, 3, 4 y 5* se muestran los resultados por índices de sitios. El $I_{15} = 27$ fue muy escaso, y el $I_{15} = 12$ se desechó como no productivo para el sistema de fustales.

Después de la certificación, la limpia por lo bajo puede reducir N a 1 050 árb/ha (70%). G cambia ligeramente porque oprimidos con $d < 8$ cm no se miden, y esa limpia mejora la acción operativa del primer raleo.

TABLA 2

Crecimiento y rendimiento de $I_{15} = 24$, $N_{inicial}$ 1 667 plantas/ha con 90% de supervivencia

A (edad)	N (árb/ha)	dg (cm)	$h0$ (m)	G (m^2 /ha)	V (m^3 /ha)	I (m^3 /ha/a ¹)
1	1500	2,3	1,5	0,6232	3,3365	3,3365
2	1500	4,5	2,7	2,3857	5,3189	2,6594
3	1500	6,7	4,0	5,2885	10,6154	3,5385
4	1050	9,0	7,5	9,5426	28,7650	7,1913
5	1050	11,2	12,0	14,7781	66,8413	13,3683
6	750	13,5	13,5	10,7354	55,1742	9,1957
7	750	15,7	14,7	14,5195	79,8372	11,4053
8	750	18,0	16,0	19,0852	112,9309	14,1164
9	444	20,2	17,5	14,2291	92,6432	10,2937
10	444	22,5	18,9	17,6538	123,1166	12,3117
11	444	24,7	20,6	21,2749	160,7747	14,6159
12	295	27,0	22,0	16,8904	136,7721	11,3977
13	295	29,2	22,7	19,7551	164,4384	12,3117
14	295	31,5	23,4	22,9697	196,6656	14,0475
15	295	33,7	24,0	26,3131	230,3455	15,3564

TABLA 3

Crecimiento y rendimiento, $I_{15}=21$, densidad inicial 1 667 plantas/ha, 90% de supervivencia

A (edad)	N (árbo/ha)	dg (cm)	h0 (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	I (m ³ /ha/a ¹)
1	1500	2,0	1,3	0,4712	3,2222	3,2222
2	1500	3,9	2,4	1,7919	4,5424	2,2612
3	1500	5,9	3,5	4,1010	8,1672	2,7224
4	1050	7,9	6,6	7,3525	20,3637	5,0909
5	1050	9,8	10,5	11,3145	45,7687	9,1537
6	1050	11,8	11,8	16,4039	72,7427	12,1238
7	1050	13,8	12,9	22,4357	106,8685	15,2669
8	805	15,7	14,0	15,5843	81,5447	10,1931
9	805	17,7	15,3	19,8077	112,1719	12,4635
10	805	19,7	16,5	24,5369	149,1024	14,9102
11	467	21,6	18,0	17,1126	114,0743	10,3704
12	467	23,6	19,3	20,4283	144,5680	12,0473
13	467	25,6	19,9	24,0374	174,8579	13,4506
14	467	27,5	20,5	27,7379	207,3061	14,8076
15	467	29,5	21,0	31,9192	244,3090	16,2873

TABLA 4

Crecimiento y rendimiento, $I_{15}=18$, densidad inicial 1667 plantas /ha, 90% de supervivencia

A (edad)	N (árbo/ha)	dg (cm)	h0 (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	I (m ³ /ha/a ¹)
1	1 500	1,7	1,1	0,3405	3,1385	3,1385
2	1 500	3,4	2,0	1,3619	3,9953	1,9976
3	1 500	5,1	3,0	3,0642	6,3094	2,1031
4	1 050	6,7	5,6	5,2885	13,7187	3,4297
5	1 050	8,4	9,0	8,3127	29,9331	5,9866
6	1 050	10,1	10,1	12,0178	46,8265	7,8044
7	1 050	11,8	11,0	16,4039	68,1365	9,7338
8	1 050	13,5	12,0	21,4709	95,7542	11,9693
9	890	15,2	13,1	18,1498	79,3370	8,8152
10	890	16,9	14,2	19,9643	104,9138	10,4914
11	890	18,5	15,5	23,9235	136,0624	12,3693
12	570	20,2	16,5	18,2671	111,5063	9,2922
13	570	21,9	17,0	21,4711	134,6349	10,3565
14	570	23,6	17,6	24,9339	160,5322	11,4666
15	570	25,3	18,0	28,6554	188,6871	12,5791

La *Tabla 5* muestra el rendimiento y la indicación de raleo para los sitios con índice 15 m para quince años, los de menor calidad, pues sitios con menores índices no se con-

sideran adecuados para el manejo por fustales, y solo deben usarse, de forma económica, para el manejo por tallar, como lo demostró Peñalver (1991)

TABLA 5
Crecimiento y rendimiento, $I_{15} = 15$, N inicial 1 667 plantas/ha, 90% de supervivencia

A (edad)	N (árbs/ha)	dg (cm)	h0 (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	I (m ³ /ha/a ¹)
1	1500	1,4	0,9	0,2309	3,0773	3,0773
2	1500	2,8	1,7	0,9236	3,5619	1,7810
3	1500	4,2	2,5	2,0782	4,8704	1,6235
4	1050	5,6	4,7	3,6945	9,2378	2,3095
5	1050	7,0	7,5	5,7727	18,5863	3,7173
6	1050	8,4	8,4	8,3127	28,2572	4,7095
7	1050	9,8	9,2	11,3145	40,4328	5,7761
8	1050	11,2	10,0	14,7781	56,2011	7,0251
9	1050	12,6	10,9	18,7035	76,6619	8,5180
10	1050	14,0	11,8	23,0908	101,1727	10,1173
11	820	15,4	12,9	15,2738	73,8214	6,7110
12	820	16,9	13,8	18,3941	94,0507	7,8376
13	820	18,3	14,2	21,5679	113,1772	8,7059
14	820	19,7	14,6	24,9941	134,6388	9,6171
15	820	21,1	15,0	28,6728	157,8330	10,5222

Los resultados de índices de sitios antes de los raleos son semejantes a lo obtenido por Peñalver (1991); pero al simular los raleos se observan diferencias, lo que se atribuye a que en este trabajo la densidad y el salto

de raleo fueron calculados sobre la base de los resultados de la correlación d - Ac , que se muestra en la Fig. 2, y a la aplicación de la fórmula [2], donde Ac da el factor de espaciamento en función del $d_{1,3}$.

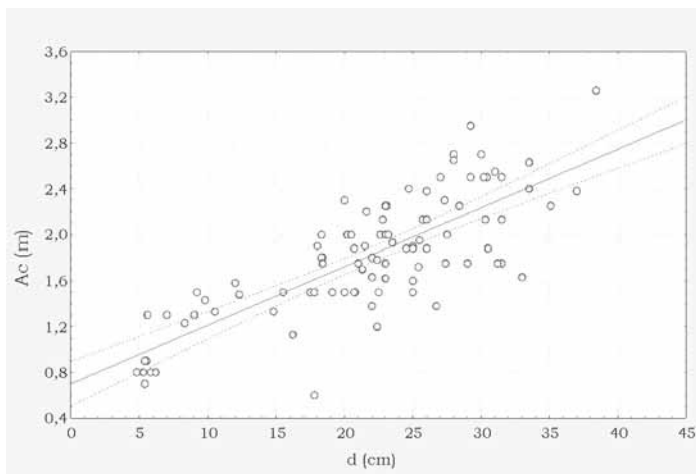


Fig. 2. Correlación d - Ac para la muestra estudiada.

Con tales datos se obtuvo la gráfica de raleos de la Fig. 3 en la que se demuestra que las plantaciones con índice 24 necesitan tres raleos, las de índices de sitio 21 y 18 necesitan dos raleos, mientras que los sitios con

índice 15 requieren de una sola intervención de raleo. La limpia de oprimidos es opcional, por lo que no ha sido representada. El salto de raleo no es vertical, y se puede hacer durante el año indicado.

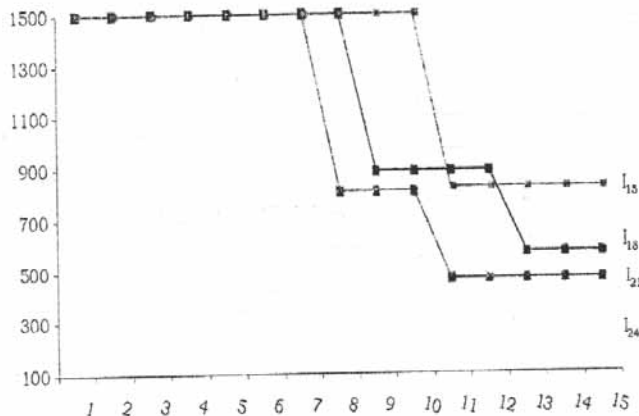


Fig. 3. Comparación de intensidad y frecuencia de los raleos para Eucalyptus sp. según el índice de sitio.

Los raleos dan cierta cantidad de varas como rollizas largas comercializables, cujes y leña, como se observa en la Tabla 6, tomando como ejemplo los sitios de índice 18.

Este volumen global de productos del raleo, de 47 m³/ha, debe costear el servicio de marcado, tala y extracción y contribuir a los demás costos de la infraestructura.

TABLA 6
Volumen del producto de los raleos y porcentaje aproximado por surtidos en rodales de calidad de sitio media, o sea, de I₁₅ = 18 m

Raleo	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Volumen (m ³ /ha)	Latizales (varas) (%)	Varitas (%)	Leña (%)
1	10	10	21,6	20	10	70
2	13	13,5	25,8	50	0	20

En la investigación se realizó la simulación de sitios raleados y no raleados. Se tomó de ejemplo un sitio de índice

24 y edad doce años. Si no se han practicado raleos, el rodal tiene 19 cm de diámetro medio y 19 m de altura como

promedio. Los surtidos son mayoritariamente varas y leña, con un valor estimado de \$9 200/ha. Si se realizan los raleos indicados en este trabajo, el diámetro medio a esa edad sería de 27 cm y la altura no variaría. Esto daría una existencia en pie de horcones, postes y otras rollizas grandes con un valor estimado de \$16 600/ha, por lo que la ganancia bruta aportada por los raleos es de \$ 7 400/ha.

El aporte socioeconómico es de un valor útil superior aún, porque se obtienen rubros estratégicos para el país, que de no practicarse los raleos se alcanzarían a más largo plazo y con inferior calidad.

La tala de rendimiento no es solo a los quince años, pues depende de la regulación de la producción determinada por el manejo.

CONCLUSIONES

- Como se esperaba, se encontró una alta correlación entre el diámetro normal y el ancho de las copas, lo que permite asegurar que el factor de espaciamiento medio es de 16 para los latizales, y de 17 para los rodales en la etapa de fustales. Este factor permite estimar el espaciamiento medio a que deben quedar los mejores árboles en el rodal raleado, cuando no se tengan a mano las tablas de producción obtenidas en este trabajo.
- Según las observaciones y opiniones en la planta de impregnación, se puede asegurar que con el turno de quince años es posible obtener los surtidos más demandados

actualmente en el país, que son los postes medianos y pequeños, con alta calidad, es decir, rectos, sin nudos y con la conicidad mínima, si se aplican los clareos (raleos) indicados como resultado de esta investigación.

- Solo para la obtención de postes de grandes dimensiones se justifican turnos más largos, en sitios de calidad de $I_{15} = 24$. Los horcones se pueden obtener de los bordes de los rodales, de árboles corpulentos y de grandes copas, porque los nudos no demeritan este producto.
- Los sitios de índice 24 presentan una dinámica de crecimiento que requiere de tres raleos para el turno de quince años. Para igual turno, los sitios 21 y 18 necesitan dos raleos, mientras que los sitios 15 requieren de un solo raleo, siempre que se utilice el marco de plantación de 3 x 2 m.
- Los cálculos simulados permiten asegurar que los raleos aumentan en un 55% el valor neto del rodal en pie, además que los surtidos de madera en rollos de grandes dimensiones son considerados de balance nacional, los que son obtenidos a turnos mínimos sólo con la aplicación de la silvicultura.

BIBLIOGRAFÍA

- ALDER, D.: «Estimación del volumen y predicción del crecimiento», *Estudio FAO Montes*, vol. 22-2, 1980.
- ÁLVAREZ O, P. A.; J. C. VARONA T, *Silvicultura*, Ed. Félix Varela, La Habana, 2006.
- BETANCOURT B, A.: *Silvicultura especial de árboles maderables tropicales*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, 1987.

- DOMÍNGUEZ, A.: Comunicación personal, 2006.
- PEÑALVER R, A.: «Estudio de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. en la provincia de Pinar del Río». Resumen de la Tesis para Doctor en Ciencias Forestales, 1991.
- PRODAN, M. *et al.*: *Mensura forestal*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 1997.
- REZENDE, M. A. *et al.*: «Variação de massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade», revista *Scientia Forestalis* no. 53, Brasil, 1998, pp. 71-78.
- SOUZA, CINTIA *et al.*: «Comportamento de *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *Europhylla* em plantios experimentais na Amazônia Central», revista *Scientia Forestalis*, Brasil, no. 65, 2004, pp. 95-101.
- STEPHAN, G.: «La variación del número de los árboles en plantaciones de *Pinus caribaea*», Technische Universität Dresden, Section Forswirtschaft, 1980.