

MODELOS DENDROMÉTRICOS PARA LA ESPECIE *Araucaria araucana* (Mol).C.Koch EN RODALES FUERTEMENTE INTERVENIDOS

Patricio Corvalán V. ¹

INTRODUCCIÓN

La especie forestal *Araucaria araucana*, ha sido declarada Monumento Natural a través del D.S. N° 43 de 1990, y por lo tanto, se prohíbe su corta y explotación en todo el territorio nacional. Este hito legal es la culminación de un largo proceso histórico de restricciones a la explotación de la especie, que comienza el año 1931 a través de la dictación del O.5. 4363 -conocido como la Ley de Bosques y posteriores reglamentaciones. En el año 1976, por primera vez se declara la especie como Monumento Natural, considerando, el acuerdo sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre CITES,

habiéndose ratificado y ordenado cumplir como ley de la República el año 1975. El año 1987 se levanta la prohibición impuesta el año 1976, permitiendo la explotación a un máximo equivalente al crecimiento de los bosques, para finalmente volver a decretarla como Monumento Natural en 1990.

Sin duda, las regulaciones y limitaciones al dominio indicadas son consecuencia directa de la tala indiscriminada de bosques naturales que históricamente caracterizó a Chile en el último siglo, a la creciente conciencia ambiental internacional, y a la falta de respuestas técnicas sobre el manejo de la especie.

¹ Profesor Asistente. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Departamento de Manejo de Recursos Forestales. Universidad de Chile. Email: pcorvala@abello.dic.uchile.cl

Uno de los temas importantes en el manejo sustentable es la cuantificación del potencial productivo de la especie. Para poder realizar estimaciones del crecimiento de los rodales y sus existencias maderables es necesario establecer algunas relaciones dendrométricas que sirvan de apoyo al proceso de mensura indicado.

Por ello es que se entregan con carácter local, algunas relaciones dendrométricas de interés:

- Diámetro de copa v/s diámetro a la altura de pecho,
- Espesor de corteza v/s diámetro a la altura de pecho,
- Crecimiento periódico radial v/s diámetro a la altura de pecho,
- Altura total v/s diámetro a la altura de pecho y,
- Volúmenes debobinables, aserrables y pulpables v/s diámetro a la altura de pecho y altura total.

MATERIAL Y MÉTODO

Se utilizó una muestra de 200 árboles medidos en terreno, agrupados en conglomerados de árboles seleccionados al azar, los cuales fueron clasificados en distintos estados de desarrollo de acuerdo al criterio de formas de copas descrito por Seitz y Nogueira para *Araucaria angustifolia* (Seitz y Nogueira, 1995): cóncavas, planas y convexas para árboles jóvenes, adultos y seniles respectivamente.

A cada árbol se midió:

- los ejes mayores y menores tanto en la copa como en el fuste a 1,3 m sobre el nivel de suelo. A partir de esta información, se calculó los diámetros medios geométricos de copa (D copa, cm) ya la altura de pecho (DAP, mm),
- un espesor de corteza (E_c , mm) en el diámetro medio geométrico, a la altura del DAP,
- el incremento radial en los últimos 40 años (Cregrad, mm),
- altura total (H, m),
- diámetros con corteza a alturas variables en el fuste.

De la muestra original se utilizó para cada par de relaciones dendrométricas aquel subconjunto de árboles que cumplieran con las condiciones de información completa, los que fueron validados mediante inspección de diagramas de dispersión de puntos.

Para cada relación dendrométrica se escogió aquel modelo que habiendo sido reportado en la literatura como adecuado y tuviese los mejores Índices de ajuste los cuales son indicados en sus cuadros respectivos.

Los modelos dendrométricos seleccionados fueron graficados y ajustados a la dispersión de puntos según el estado de desarrollo del árbol en: juveniles, adultos y seniles, los cuales se representan gráficamente.

Modelos dendrométricos

Diámetro de copa v/s DAP

Una de las relaciones más usadas en la dendrometría es la existente entre el diámetro de copa (D copa) y el diámetro a la altura de pecho (DAP). Esta relación es claramente lineal en árboles creciendo en forma aislada, y puede ser establecida a partir del DAP o bien, estimaciones de DAP a partir de mediciones aerofotogramétricas del diámetro de copa.

El modelo de ajuste es lineal, en concordancia a los estudios realizados para otras especies en árboles creciendo aislados (Leech, 1984; Madgwick, 1994).

Se presenta el estimador D copa (cm) como función del DAP (mm).

Espesor de corteza v/s DAP

Sin duda que la especie *Araucaria araucana* presenta una corteza muy singular entre las especies nativas debido a su enorme espesor. Tanto para la estimación de su diámetro como de su volumen sin corteza en función del DAP (Martínez, 1984), es que se presenta a continuación un conjunto de ecuaciones lineales predictivas para el espesor de corteza, para los distintos estados de desarrollo de la especie. El modelo es razonable, especialmente para árboles aislados (Husch et al., 1993).

Para árboles creciendo en altas densidades puede esperarse espesores máximos constantes (Madgwick, 1994).

Crecimiento radial periódico al DAP v/s DAP

El crecimiento volumétrico de los árboles es directamente proporcional al crecimiento en área basal y éste, es función de su crecimiento radial al DAP. Por razones económicas, la troza basal es la de mayor importancia en el árbol y, habiéndose destinado históricamente esta pieza a debobinado, resulta del mayor interés evaluar su crecimiento radial, el que queda muy directamente relacionado con el crecimiento al DAP.

La predicción del crecimiento diametral de árboles es modelada como una función lineal del DAP (Corvalán, 1977; Husch et al., 1993), aún cuando ésta pueda ser constante.

Se utilizó una muestra de 135 árboles medidos y clasificados en distintos estados de desarrollo. Se midió el crecimiento radial en el período de los últimos 40 años (Creced, mm), en el mismo punto indicado para el espesor de corteza al DAP, con taladro de incremento, y el DAP (mm). El tarugo obtenido fue marcado y medida su longitud en estado verde. Luego se dejó secar y se lijó una cara plana para medir los crecimientos radiales pasados en los últimos 40 años, y corregirlos al estado verde.

El modelo de ajuste es lineal.

Altura total v/s DAP

Aún cuando la altura total de los árboles (H) depende del sitio, fa edad y la estructura del dosel a la que éste pertenece, en

rodiales multietáneos es posible estimar una relación funcional general, pero de mayor dispersión que en rodales coetáneos. La estimación de alturas totales es importante en la dendrometría de la Araucaria araucana, por ser una variable independiente importante para realizar cuantificaciones de biomasa o madera en el árbol. La relación funcional entre la altura total y el DAP no es lineal, sino logarítmica, exponencial asintótica o parabólica (Husch et al., 1993).

Tablas de volumen

Aún cuando la especie Araucaria araucana ha sido declarada Monumento Natural, y por tanto no puede ser talada, sigue siendo de interés conocer su productividad potencial en madera. Los productos que tradicionalmente se comercializaron en el pasado fueron trozos debobinables y aserrables.

Para cada árbol así medido se simuló (Corvalán, 1984) un esquema de trozado único del tipo:

- 1a prioridad: trozos debobinables,
- 2a prioridad: trozos aserrables y,
- 3a prioridad: trozos pulpable.

Para la acumulación de productos se ajustó un modelo logarítmico.

RESULTADOS

Estimación de diámetro de copa se utilizó una muestra de 200 árboles medidos en terreno, los cuales fueron clasificados en distintos estados de desarrollo. Los estimadores de la relación lineal del tipo $D_{\text{copa}} = \alpha + \beta * DAP$ se presentan en el Cuadro N° 1:

Cuadro N° 1: Descriptores estadísticos del modelo de estimación: diámetro de copa v/s DAP

Estado del árbol	α	β	$R^2(\%)$	Se (cm)	n
Juvenil	199,106	0,875305	55,2	122	46
Adulto	296,386	0,750680	51,4	184	110
Senil	66,523	0,974297	43,4	225	44

donde:

R^2 es el coeficiente de determinación, Se es el error estándar de estimación, n es el tamaño de la muestra de árboles de la regresión, (1 y p parámetros del modelo).

La Figura N° 1 muestra la dispersión de puntos por estado de desarrollo del árbol, y en el Cuadro N° 2 una tabulación de los valores estimados.

Se observa claramente el mayor tamaño en diámetro de copa para el estado adulto, hasta árboles de 80 cm de DAP, en relación al estado juvenil, y hasta 100 cm de DAP para árboles seniles. Lo anterior es concordante con lo indicado por Seitz y Nogueira (1995), en el sentido que el desarrollo de la copa es creciente hasta el estado de adulto luego de lo cual, comienza su destrucción.

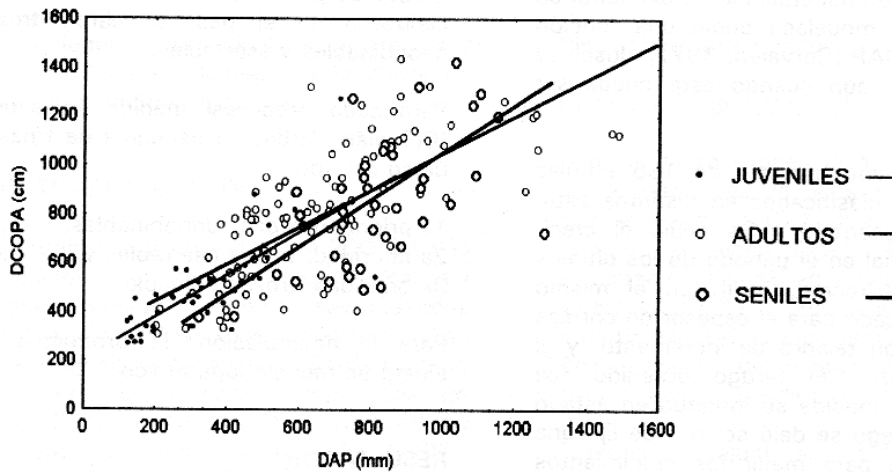


Figura N° 1: Diagrama de dispersión de puntos y ajuste modelo diámetro de copa vs DAP

Cuadro N° 2: Diámetro de copa según DAP y estado de desarrollo del árbol (metros)

DAP (cm)	Juvenil	Adulto	Senil
20	3,7		
40	5,5	6,0	4,6
60	7,2	7,5	6,5
80	9,0	9,0	8,5
100		10,5	10,4
120		12,0	12,4
140		13,5	

Estimación de espesor de corteza

Se utilizó una muestra de 176 árboles, a los cuales se midió adicionalmente un espesor de corteza en el DAP. A cada árbol se estimó entonces el espesor de corteza (E_c , mm) y su diámetro a la altura de pecho (DAP, cm).

El modelo de ajuste es lineal, de la forma $E_c = \alpha + \beta \cdot \text{DAP}$.

Los estimadores de la relación lineal indicada se presenta en el Cuadro N° 3:

Cuadro N° 3: Descriptores estadísticos del model de estimación espesor de corteza V5 DAP

Estado del árbol	α	β	$R^2(\%)$	Se (cm)	n
Juvenil	0,7951	0,080307	74,1	6,7	42
Adulto	17,3997	0,051934	38,6	15,4	97
Senil	23,2611	0,054569	31,6	17,2	37

En la Figura N° 2 se aprecia claramente el aumento en el espesor de corteza a medida que el árbol aumenta en estrato de desarrollo, a todo nivel de DAP, y en el Cuadro N° 4

se presenta una tabulación del porcentaje de corteza a nivel del DAP, para distintos estados de desarrollo y tamaños del árbol.

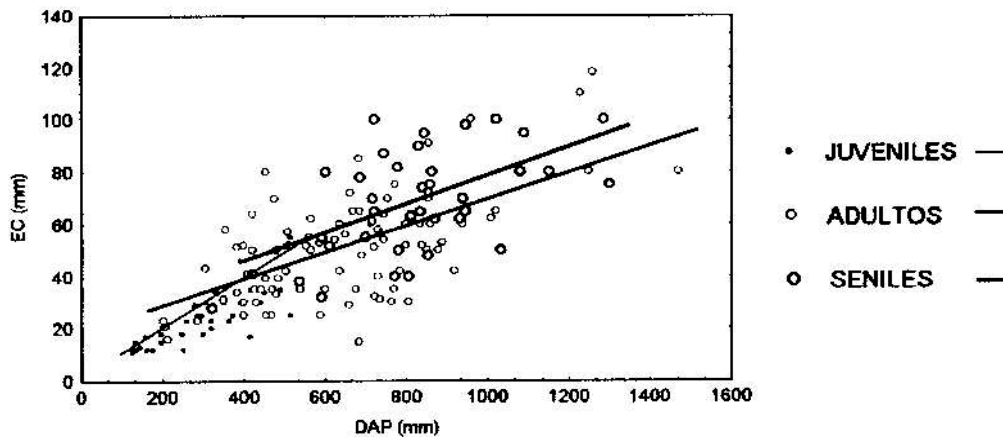


Figura N° 2: Diagrama de dispersión de puntos y ajuste modelo espesor de corteza vs DAP

Cuadro N° 4: Doble espesor de corteza (%) al DAP según estado de desarrollo del árbol

DAP (cm)	Juvenil	Adulto	Senil
10	18		
30	17	22	26
50	16	17	20
70	16	15	18
90		14	16
110		14	15
130		13	
150		13	

Estimación del crecimiento radial pasado

Se consideró un período de 40 años, como referencia, por constituir la máxima longitud establecida para los ciclos de corta, en el D.S. N° 141 de 1987, previo a la declaración de Monumento Natural.

El modelo de ajuste es lineal, de la forma $Cregrad = \alpha + \beta * DAP$.

Los estimadores de la relación lineal indicada se presentan en el Cuadro N° 5:

Cuadro N° 5: Descriptores estadísticos del modelo de estimación: crecimiento radial pasado vs DAP

Estado del árbol	α	β	$R^2(\%)$	Se (mm/40 años)	n
Juvenil	36,0367	0,115735	18,4	36,43	27
Adulto*	62,2257				80
Senil*	44,185				27

* Se calculó el promedio aritmético

En la Figura N° 3 y en el Cuadro N° 6, se aprecia claramente la mayor velocidad de crecimiento de los árboles juveniles, los cuales aumentan sus tasas a medida que lo hace el DAP-, sobre árboles los adultos y los seniles, que presentan tasas de crecimiento constantes e inferiores.

Si se compara estos valores respecto de árboles creciendo sin intervención (Cavieres, 1987) se puede apreciar que éstos pueden alcanzar valores superiores al menos en un 100% en los casos juveniles y seniles y 50% en el caso de los árboles en estado adulto.

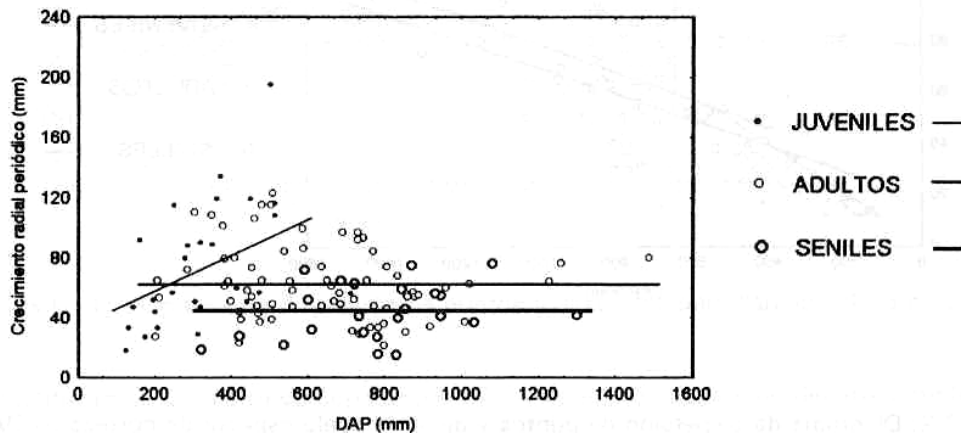


Figura N° 3: Diagrama de dispersión de puntos y ajuste modelo crecimiento radial periódico vs DAP

Cuadro N° 6: Crecimiento radial (mm) en los últimos 40 años según DAP y estado de desarrollo del árbol

DAP (cm)	Juvenil	Adulto	Senil
20	59		
40	82	62	44
60	105	62	44
80	129	62	44
100		62	44
120		62	44
140		62	

Estimación de la altura total

Se utilizó una muestra de 192 árboles, a la cual se midió la altura total (H, m) y el DAP (cm). El modelo de ajuste es de la forma $LOG(H) = \alpha + \beta * LOG(DAP)$.

Los estimadores de la ecuación, son los siguientes, independiente del estado de desarrollo del individuo:

$LOG(H) = 0,275189 + 0,669674 * LOG(DAP)$
 $R^2 = 79,9\%$

Se = 0,22 (LOG m)
 n = 192

En la Figura N° 4, se aprecia una dispersión no estratificada en el estimador de alturas de acuerdo a los distintos estados de desarrollo de los individuos, pudiendo en este caso justificarse claramente una sola función, para todo el rango diamétrico. Las alturas estimadas se presentan en el Cuadro N° 7.

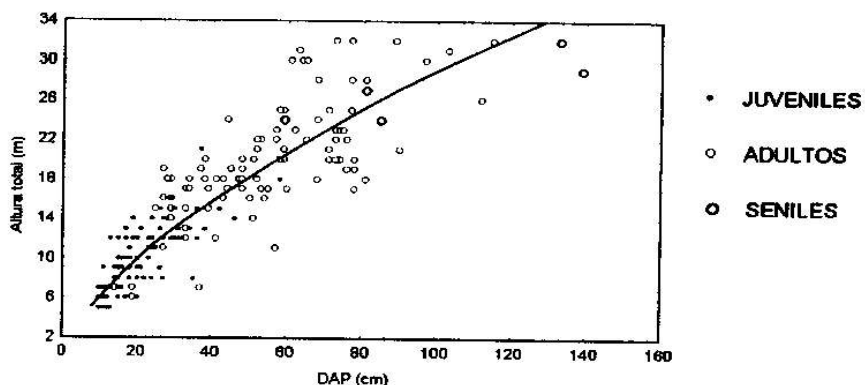


Figura N° 4: Diagrama de dispersión de puntos y ajuste modelo altura total vs DAP

Cuadro N° 7: Alturas estimadas (m) según DAP

DAP (cm)	Altura total (m)
20	9,8
40	15,6
60	20,4
80	24,8
100	28,8
120	32,5
140	36,0

Estimación de las tablas de volumen comercial

Para trozos debobinables con madera libre de nudos, el diámetro mínimo requerido es de 70 cm con corteza en el extremo menor y el largo de 2,6 m (Haig et al., 1946). Para trozos aserrables el diámetro mínimo con corteza se definió de 50 cm y el largo 3,6 m. También es posible evaluar un rollizo tipo pulpable de diámetro menor 10 cm con corteza y largo 2,44 m.

La predicción de madera de árboles (Vol, m³scc) en pie se puede modelar como una función del diámetro a la altura de pecho (DAP, cm) y la altura total (H, m) (Corvalán, 1977; Husch et al., 1993).

Se utilizó una muestra de 1 29 árboles, a los que se les midió el diámetro con corteza con relascopeo de espejos de banda ancha cada 2 m de altura y fueron clasificados en distintos estados de

desarrollo. Cada diámetro fue ajustado proporcionalmente a una medida de control con forcípula realizada a nivel del DAP.

Para cada árbol así medido se simuló (Corvalán, 1984) un esquema de trozado único del tipo:

- 1a prioridad: trozos debobinables,
- 2a prioridad: trozos aserrables y,
- 3a prioridad: trozos pulpable.

Para la acumulación de productos se ajustó un modelo logarítmico del tipo $LOG(Vol)=\alpha+\beta+*LOG(DAP) +\delta*LOG(H)$, para cada fase de desarrollo de los árboles; donde:

Vol: es el volumen cúbico bruto, con corteza del producto indicado.

Los resultados se muestran en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8: Descriptores estadísticos de los modelos de estimación: volúmenes comerciales vs DAP y altura total

Estado de desarrollo	Productos acumulados hasta	α	β	δ	R	Se (LOG m ³)	n
Juvenil	Debobinable	-	-	-	-	-	-
	Aserrable	-	-	-	-	-	-
	Pulpable	-11,1725	2,2292	1,0907	0,983	0,160	27
Adulto	Debobinable	-16,6836	3,1156	1,2013	0,676	0,500	24
	Aserrable	-14,2709	2,7202	1,1864	0,799	0,406	48
	Pulpable	-9,6850	1,8666	1,0322	0,975	0,164	72
Senil	Debobinable	-21,5205	4,5602	0,6640	0,799	0,396	20
	Aserrable	-17,9095	3,3719	1,4067	0,816	0,324	28
	Pulpable	-9,7086	1,9317	0,9510	0,966	0,102	33

Lamentablemente no existe en la literatura funciones comparables a éstas, debido fundamentalmente a que están definidas para trozos de diferentes dimensio-

nes, diámetros límites de utilización, volúmenes netos sin corteza y con árboles sin clasificación de su estado de desarrollo.

Lamentablemente no existe en la literatura funciones comparables a éstas, debido fundamentalmente a que están definidas para trozos de diferentes dimensiones,

diámetros límites de utilización, volúmenes netos sin corteza y con árboles sin clasificación de su estado de desarrollo.

LITERATURA CITADA

- Cavieres, A. 1987. Estudio de crecimiento de *Araucaria araucana* (Mol.) C. Koch en un bosque vírgen de Araucaria-Lenga. Memoria. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 117 p.
- Corvalán, P. 1977. Estudio preliminar de crecimientos en algunos renovales de la Isla Grande de Chiloé. Tesis. Universidad de Chile, Facultad de Cs. Forestales. 106 p.
- Corvalán, P. 1984. Simutroz: Un simulador de trazado de árboles. 1er Seminario "Computación, investigación y enseñanza en el sector agrosilvopecuario". Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Universidad de Chile. 100 p.
- Haig, I.; Teesdale, L.; Briegleb, Ph.; Payne, B. & Haertel, M. 1946. Forest resources of Chile: As a Basis for Industrial Expansion. Manuscrito. CORFO. 256 p.
- Husch, B.; Miller, Ch. & Beers, Th. 1993. Forest Mensuration. Third ed. Krieger Publishing Company. 402 p.
- Leech, J. W. 1984. Estimating Crown Width from Diameter at Breast Height for Open-grown Radiata Pine Trees in South Australia. Aust. For. Res., 1984,14,333-7.
- Martínez, O. 1984. Análisis de la variación del espesor de corteza a lo largo del fuste en un rodal maduro de *Pinus radiata* (D, Don). Memoria. U. De Chile. Fac. de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. 100 p.
- Madgwick, H.A.I. 1984. Pinus radiata Biomass, Form and Growth. H.A.I. Madgwick 36 Selwyn Road, Rotorua. New Zealand. 428 p.
- Seitz, R. & Nogueira, A. Crown Architecture of *Araucaria angustifolia* (Bert) 1995. O. Ktze and Growth Reaction to Releasing. Internet: <http://www.metla.fi/conf/iufr095abs/d1pap134.htm>