

Septiembre 2013



Funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono forestal para la especie *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (ARAUCARIA)

Unidad de Cambio Climático
Gerencia Forestal
Corporación Nacional Forestal

Jorge Gayoso
Programa Bosques PROCARBONO
Universidad Austral de Chile

Revisión Técnica
Angelo Sartori
Fabián Milla
Francoise Pincheira
Cristian Perez





CONTENIDOS

<i>Prólogo</i>	5
1 INTRODUCCIÓN	9
2 ÁREA DE ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA	10
2.1 Área de estudio	10
2.2 Descripción general de la especie <i>Araucaria araucana</i>	12
2.3 Selección de la muestra	12
3 METODOLOGÍA	15
3.1 Mediciones de terreno y obtención de muestras	15
3.2 Procesamiento de las muestras en laboratorio	15
3.2.1 Determinación del contenido de humedad	15
3.2.2 Determinación de la densidad básica de la madera	16
3.2.3 Separación de ramillas y hojas	18
3.2.4 Determinación del contenido de carbono	18
3.2.5 Determinación de la edad de los árboles	18
3.3 Análisis estadístico y desarrollo de funciones	19
4 RESULTADOS	20
4.1 Relaciones de forma de los árboles muestra	20
4.2 Relaciones entre DAP y edad de los árboles muestra	21
4.3 Participación de los componentes del árbol	25
4.4 Variaciones del contenido de humedad	29
4.5 Variaciones de la densidad básica de la madera	31
4.6 Contenido de carbono	34
4.7 Contenido de cenizas	36
4.8 Desarrollo de funciones alométricas para la especie <i>Araucaria</i>	37
4.8.1 Biomasa aérea	37
4.8.2 Funciones por componente	41
5 COMENTARIOS FINALES	46
6 REFERENCIAS	47



PRÓLOGO

El cambio climático es uno de los flagelos más relevantes que han debido abordar los países en las últimas décadas, jugando los ecosistemas forestales del mundo un rol preponderante en la discusión internacional asociada, donde por un lado se les atribuye un gran aporte en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producto de las altas tasas de deforestación y degradación que aún se reportan a escalas globales, y por otro, como parte de las medidas más eco-eficientes para que mediante la conservación, manejo sustentable y forestación en sitios adecuados, se incremente la remoción de GEI desde la atmósfera, almacenándolos en la biomasa aérea y subterránea de los árboles.

La Corporación Nacional Forestal (CONAF), a solicitud del Ministerio de Agricultura, ha formulado, la denominada Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático (ENBCC), iniciativa con la que busca hacer frente a las exigencias de información y cumplimiento de reducción de GEI que ha comprometido Chile ante la comunidad internacional, centrándose en específico en disponer de fuentes de ingresos optativas que sean complementarias a lo que ya existe en el país, como es la generación de bonos de carbono forestal factibles de transar en mercados afines.

Es en este marco, que se ha trabajado intensamente con centros de investigación nacional para levantar información de primera línea que permita determinar las existencias de carbono presentes en los bosques nativos de Chile (tanto templados como esclerófilo) con la finalidad de contar con mejores insumos para el desarrollo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) a nivel país y, un robusto sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV), agregando a ello, niveles de referencia válidos y verificados internacionalmente y, con disponibilidad libre para todos los usuarios.

En este marco es que se ha elaborado la presente publicación, que apunta a generar funciones alométricas para la determinación de existencias de biomasa de la especie *Araucaria araucana* (Araucaria), dando pasos hacia una mejor estimación de las existencias de carbono forestal en los bosques nativos del país.

Con lo anterior, se busca ser un referente a nivel mundial, posicionando a Chile en materia de bosques y cambio climático, para lo cual se ha tenido una importante cooperación técnica y financiera de orden internacional, que se ha materializado en los últimos años con el Gobierno de Suiza, el Fondo Cooperativo del Carbono de los Bosques (FCPF por sus siglas en inglés) y el Fondo Global del Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés), más una serie de otros aportes del sector privado de Chile.

Paulatinamente, con estudios que aumentan la calidad de los reportes del INGEI e iniciativas como la ENBCC, Chile va escalando en credibilidad y empieza a tomar la delantera en cómo adaptarse y mitigar las causas y efectos del cambio climático, lo que implica que en el largo plazo el país cuente con más y mejores bosques y formaciones xerofíticas, que se valoren por los múltiples beneficios que ellos entregan al planeta, retribuyendo además a los dueños de estos ecosistemas en el entendido que son ellos quienes cuidan este patrimonio nacional.





Finalmente, cabe consignar que esfuerzos de estas características responden a una política de Estado que se centra en el concepto de desarrollo sustentable, donde se busca el aprovechamiento adecuado de estos recursos para satisfacer las actuales necesidades de la sociedad, pero no se comprometen los requerimientos de las futuras generaciones. En lo particular, la necesidad actual de la sociedad es utilizar la capacidad de los ecosistemas forestales de almacenar GEI, lo que da un impulso para avanzar en términos políticos, técnicos y de innovación para que el país cuente con un sector forestal integral y robusto, ocupándose al mismo tiempo de temas como la biodiversidad y la adecuada distribución de los beneficios a los dueños de bosques, como son los medianos y pequeños propietarios.

Eduardo Vial Ruiz-Tagle
Director Ejecutivo
Corporación Nacional Forestal

1. Introducción



1 INTRODUCCION

Este estudio fue encargado por la Unidad de Cambio Climático de la Gerencia Forestal de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) mediante la Resolución N°25 de fecha 23/01/2012 para la generación de funciones alométricas en la determinación de existencias de carbono forestal para la especie *Araucaria araucana* (Araucaria). Estudio inserto en el proyecto de Monitoreo Dendroenergía y Carbono Forestal que se desarrolla en el país para cuantificar los Gases de Efecto Invernadero presentes en los bosques nacionales, conforme a los compromisos de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

Lo anterior, responde a la Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático que lidera CONAF, a través de la recientemente creada Plataforma de Generación y Comercio de Bonos de Carbono del Sector Forestal de Chile (PBCCh), contemplando el institucionalizar una serie de aspectos técnicos, entre los que está la determinación de niveles de referencia y el levantamiento de funciones alométricas para las especies nativas del país.

La participación del Programa Bosques PROCARBONO de la Universidad Austral de Chile consistió en el seguimiento de la toma de muestras, el desarrollo de un extenso programa de laboratorio y el análisis de los datos.

Este estudio se basó en la cosecha de árboles para su pesaje integral y posterior toma de muestras, etapa que contó con todas las autorizaciones requeridas por la normativa vigente y realizada por la empresa CAMPO DIGITAL¹ mediante adjudicación de licitación pública por CONAF. Los árboles fueron donados por los propietarios expresamente para este estudio. La Universidad recibió las muestras de forma gradual entre los meses de marzo y mayo. Posteriormente se analizaron las muestras en laboratorio, entre los meses de marzo y septiembre (2012).

Bosques PROCARBONO agradece a CONAF la oportunidad para realizar esta investigación y a los propietarios que donaron los árboles para este estudio.

¹ CAMPO DIGITAL, empresa de servicios múltiples, ha medido y pesado en campo más de 700 árboles y sus componentes para estudios de funciones alométricas de biomasa y carbono en los últimos 10 años.

2 ÁREA DE ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el predio La Fusta, ubicado en la Comuna de Lonquimay, Provincia de Malleco, Novena Región de la Araucanía, vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes, Chile ($38^{\circ} 34' 28''\text{S}$ y $71^{\circ} 26' 22''\text{O}$). Este predio se localiza aproximadamente en el centro de distribución de la especie y cuya disponibilidad de individuos aislados con excelente accesibilidad permitió una selección adecuada de tamaños.

La altitud media sobre el nivel del mar de las áreas de muestreo fluctúa entre 1.290 m s.n.m. y 1.380 m s.n.m.. En estas áreas se presenta un clima frío, húmedo y con 2 a 4 meses secos en verano. La precipitación media anual para el área es de 1.500 a 2.500 mm, parte de ella en forma de nieve (Donoso, 2006), con temperaturas medias que varían entre -1°C en invierno hasta 9°C en verano (Di Castri y Hajek, 1976).

Los suelos donde crece *Araucaria araucana* han sido desarrollados sobre rocas volcánicas andesíticas y basálticas cubiertas por cenizas volcánicas recientes, pumicitas y escorias volcánicas. En general son suelos moderados a profundos, de textura media a fina y franco arcillo arenosa a arcillosa en profundidad, suelo de erodabilidad moderada a alta, con drenaje rápido a moderado, pH ácido y bajo nivel nutricional (Donoso, 2006). El estudio se emplazó en áreas afectadas por incendios forestales hace una década, los cuales cubrieron cerca de 3.000 ha en el predio, Figura 1. No obstante esta condición no limita la aplicación de los resultados a árboles de otros sitios no afectados.

Mediante revisión de la literatura nacional se pudo comprobar la ausencia de investigación en funciones alométricas para la estimación de biomasa y carbono de *Araucaria araucana*. Esta condición y la importancia del tipo forestal en la acumulación de carbono, especialmente por su longevidad, motivan este primer esfuerzo país.

2. Área de estudio y selección de la muestra

Funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono forestal para la especie *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (ARAUCARIA)

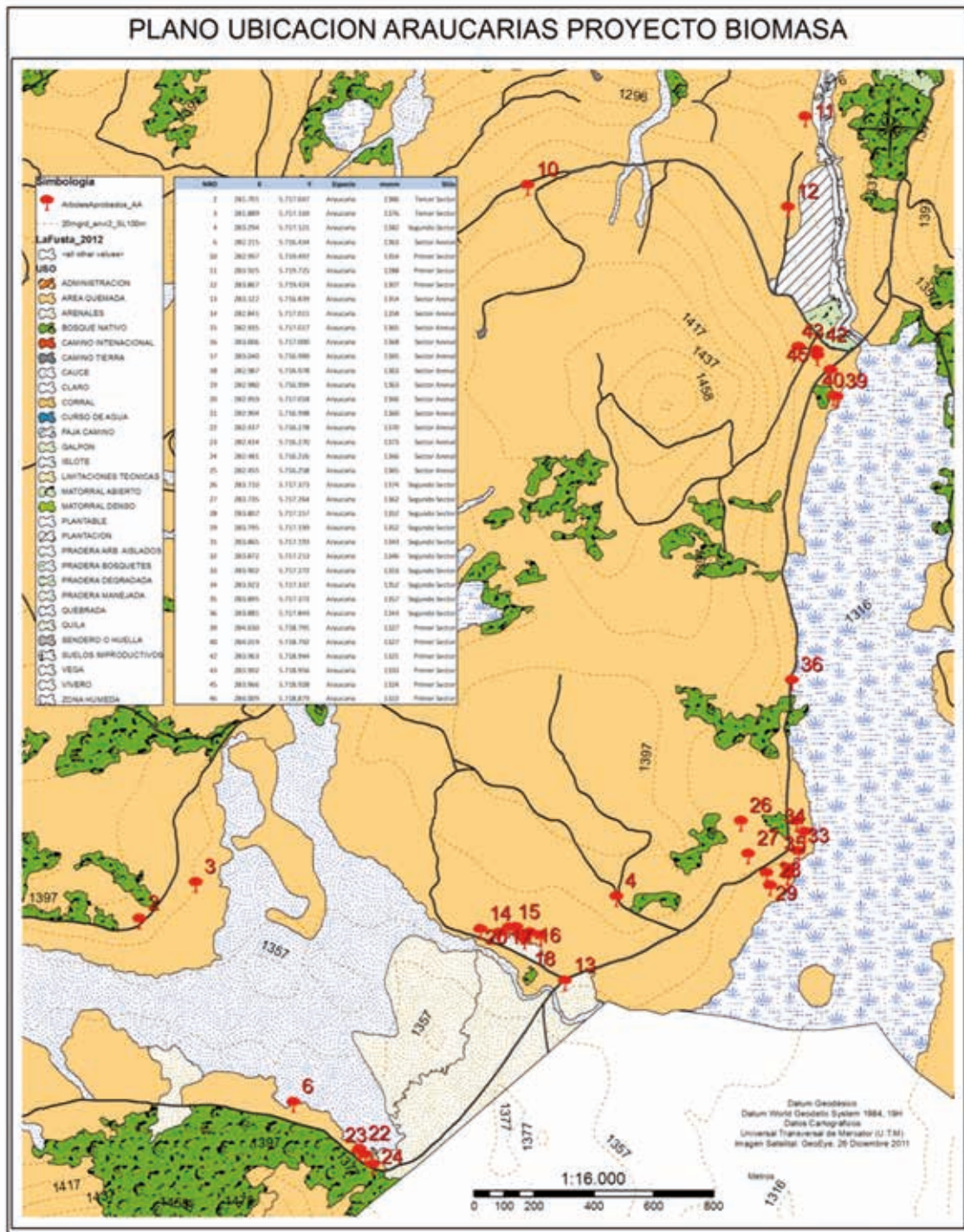


Figura 1.
Plano ubicación Araucarias, proyecto funciones de biomasa, predio Las Fustas, Comuna de Lonquimay.
Fuente: Campo Digital (2012).

2.2 Descripción general de la especie

***Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (Araucaria)**

La especie *Araucaria araucana* es una conífera siempreverde dioica, raramente monoica que puede alcanzar hasta 50 m de altura. Se han reportado individuos con diámetros de hasta 2 m. Su tronco es grueso, notablemente cilíndrico, su corteza es gruesa y agrietada, persistente pudiendo alcanzar hasta 20 cm de espesor. Sus hojas son coriáceas y en individuos mayores el follaje se ubica en altura; estas condiciones le hacen resistente a incendios y bajas temperaturas (Donoso, 2006).

Esta especie es muy longeva, pudiendo alcanzar más de 1.000 años de edad. Fue restablecida como Monumento Nacional el año 1990 por el Ministerio de Agricultura bajo el cual se prohíbe su explotación. Los bosques de *Araucaria araucana* han sido históricamente importantes desde el punto de vista cultural, ecológico, científico y socioeconómico. La drástica disminución de su distribución durante los últimos siglos se asocia a una fuerte presión antrópica (Donoso, 2006), lo que ha llevado a catalogar a esta especie como vulnerable (UICN, 2001).

Distribución geográfica de la especie

La presente distribución de *Araucaria araucana* se divide en zonas bien delimitadas entre un área principal a ambos lados de la Cordillera de los Andes y dos poblaciones disjuntas en la Cordillera de la Costa. En Chile y Argentina la superficie estimada con presencia de *Araucaria araucana* alcanza 254.000 y 180.000 ha respectivamente. En la Cordillera de los Andes se distribuye desde los 37°30' hasta los 40°03' S, su rango altitudinal fluctúa entre los 900 y 1.800 m s.n.m., límites que son más altos en la región septentrional y que disminuyen hacia el sur (Donoso, 2006).

La segunda zona se encuentra en la Cordillera de Nahuelbuta donde los bosques de *Araucaria araucana* se agrupan en dos poblaciones relativamente pequeñas. La más septentrional se encuentra desde los 37°40' a 37°50' S, con un rango altitudinal que va desde los 1.000 a 1.400 m s.n.m.; y la más meridional, en los 38°40' S en altitudes que alcanzan los 600 m s.n.m. (Donoso, 2006).

La especie forma generalmente comunidades puras y abiertas definidas como el Tipo Forestal Araucaria (Flora Chilena, 2013), representando un 1,9% de la superficie boscosa de Chile (CONAF, 1999). Se asocia generalmente con lenga, ñirre y coigüe.

2.3 Selección de la muestra

El proceso de selección de los individuos se basó en la disponibilidad de árboles aislados vivos que no se encontraban conformando "bosque" para efectos legales, ya que de otra forma se habría requerido un complejo proceso, retrasando considerablemente la ejecución del estudio. Los individuos seleccionados no tenían mayores daños provocados por el fuego y cumplían con el requerimiento de distribución de tamaño, asegurando la representatividad de la especie. Para esto se realizó muestreos de reconocimiento

puntual en áreas no clasificadas como bosque, es decir en agrupaciones o árboles aislados de tamaño menor a 0,5 hectáreas o con coberturas de copas menores a un 25% o de ancho menor a 40 metros, lo que fue comprobado con imágenes satelitales evidenciando la ubicación exacta de los individuos y su evaluación respecto de la cobertura de copas vecinas (Campo Digital, 2012). Además CAMPO DIGITAL con la participación de CONAF Región de la Araucanía, seleccionaron y marcaron 36 individuos para el estudio. Los árboles fueron geo-referenciados. En el Cuadro 1 se presenta la localización en coordenadas UTM de los árboles muestra y su altitud.

Cuadro 1. Localización de árboles muestra especie *Araucaria* predio La Fusta

ÁRBOL	Coordenadas UTM		Altitud m s.n.m.	Sitio
	X	Y		
2	281.701	5.717.047	1.386	Tercer Sector
3	281.889	5.717.169	1.376	Tercer Sector
4	283.294	5.717.121	1.382	Segundo Sector
6	282.215	5.716.434	1.363	Sector Arenal
10	282.997	5.719.497	1.354	Primer Sector
11	283.925	5.719.725	1.288	Primer Sector
12	283.867	5.719.424	1.307	Primer Sector
13	283.122	5.716.839	1.354	Sector Arenal
14	282.841	5.717.011	1.358	Sector Arenal
15	282.935	5.717.017	1.365	Sector Arenal
16	283.006	5.717.000	1.368	Sector Arenal
17	283.040	5.716.990	1.365	Sector Arenal
18	282.987	5.716.978	1.363	Sector Arenal
19	282.980	5.716.994	1.363	Sector Arenal
20	282.959	5.717.018	1.366	Sector Arenal
21	282.904	5.716.998	1.360	Sector Arenal
22	282.437	5.716.278	1.370	Sector Arenal
23	282.434	5.716.270	1.373	Sector Arenal
24	282.481	5.716.226	1.366	Sector Arenal
25	282.455	5.716.258	1.365	Sector Arenal
26	283.710	5.717.373	1.374	Segundo Sector
27	283.735	5.717.264	1.362	Segundo Sector
28	283.807	5.717.157	1.352	Segundo Sector
29	283.795	5.717.199	1.352	Segundo Sector
32	283.872	5.717.213	1.346	Segundo Sector
33	283.902	5.717.272	1.353	Segundo Sector
34	283.923	5.717.337	1.352	Segundo Sector
35	283.895	5.717.372	1.357	Segundo Sector
36	283.881	5.717.843	1.343	Segundo Sector
39	284.030	5.718.791	1.327	Primer Sector
40	284.019	5.718.792	1.327	Primer Sector
42	283.963	5.718.944	1.321	Primer Sector
43	283.902	5.718.956	1.333	Primer Sector
44	283.931	5.719.088	1.333	Primer Sector
45	283.966	5.718.928	1.324	Primer Sector
46	284.009	5.718.879	1.322	Primer Sector

Fuente: Campo Digital

2. Área de estudio y selección de la muestra

Los árboles fueron posteriormente cosechados por CAMPO DIGITAL, quien operó los procedimientos de pesaje y obtención de muestras de acuerdo a protocolos pre-establecidos con Bosques PRO-Carbono de la Universidad Austral de Chile. Los principales atributos registrados por CAMPO DIGITAL se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Principales atributos de árboles muestra, especie Araucaria

ÁRBOL	DAP ² (cm)	Altura Total (m)	Área Basal (m²)	Edad (años)
2	113,70	27,35	1,0153	662
3	87,60	23,14	0,6027	416
4	94,70	21,95	0,7044	465
6	126,40	24,76	1,2548	417
10	75,50	26,45	0,4477	405
11	94,20	24,40	0,6969	514
12	76,20	21,22	0,4560	306
13	72,20	15,50	0,4094	309
14	25,00	6,90	0,0491	118
15	10,00	3,68	0,0079	48
16	70,40	17,30	0,3893	515
17	82,80	23,19	0,5385	517
18	29,10	9,56	0,0665	106
19	10,00	3,20	0,0079	43
20	14,00	4,55	0,0154	138
21	28,00	8,26	0,0616	137
22	22,80	7,60	0,0408	114
23	47,50	11,30	0,1772	133
24	11,50	4,03	0,0104	65
25	49,20	14,20	0,1901	155
26	47,40	16,55	0,1765	228
27	23,00	7,35	0,0415	85
28	99,00	29,45	0,7698	415
29	48,80	14,05	0,1870	243
32	26,00	8,20	0,0531	106
33	22,30	6,61	0,0391	133
34	73,30	20,60	0,4220	436
35	44,60	12,75	0,1562	223
36	14,10	6,10	0,0156	39
39	70,00	18,56	0,3848	234
40	26,10	8,44	0,0535	145
42	10,10	3,40	0,0080	48
43	24,50	7,68	0,0471	194
44	54,30	13,84	0,2316	189
45	48,60	11,40	0,1855	206
46	105,50	20,65	0,8742	532

DAP y Altura Total medidos por CAMPO DIGITAL

2 DAP: Diámetro a la altura de pecho, aproximadamente 1,3 metros de altura.

3 METODOLOGÍA

3.1 Mediciones de terreno y obtención de muestras

Este estudio aplicó el método de cosecha para la contabilidad de la biomasa de los individuos de las especies seleccionadas, logrando la medición directa del peso de las estructuras aéreas. El método que se utilizó siguió las recomendaciones del “Manual de Procedimientos Muestreos de Biomasa Forestal” (Schlegel, *et al.* 2000), elaborado por la Universidad Austral de Chile para el “Proyecto de medición de la capacidad de captura de carbono de los bosques de Chile y su promoción en el mercado mundial”.

Los pesajes de terreno y toma de muestras los efectuó la empresa CAMPO DIGITAL, mientras todos los análisis de laboratorio, elaboración de las bases de datos y manejo estadístico correspondieron al programa Bosques Pro Carbono de la Universidad Austral de Chile. El presente informe describe los procedimientos de análisis y entrega las funciones alométricas para biomasa aérea de la especie estudiada, de acuerdo con los términos de referencia del proyecto desarrollado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). El estudio de la biomasa radical podrá complementarse a futuro, hoy postergado por restricciones presupuestarias y cabida temporal. La remoción cuidadosa de raíces con maquinaria, para evitar su desmembramiento y las condiciones para efectuar su limpieza, demandaban recursos que no estaban disponibles al momento de este estudio.

3.2 Procesamiento de las muestras en laboratorio

3.2.1 Determinación del contenido de humedad

- a. De las muestras individuales. Para la determinación del contenido de humedad se utilizó como referencia la norma chilena NCH 176/1-Of1984, utilizando el procedimiento de secado en estufa a 105°C. Dependiendo del tamaño de la muestra el tiempo de secado tomó varios días hasta alcanzar peso constante. Las muestras de fuste comprendieron el análisis de rodela a cuatro alturas (tocón, DAP, 50% de altura y copa) o en su defecto cuñas que incorporaron desde la médula a la corteza. De forma correspondiente también se determinó el contenido de humedad de la corteza para iguales cuatro alturas.
- b. Del fuste completo. Conscientes de la variabilidad del contenido de humedad a lo largo del fuste, lo que fue corroborado mediante análisis de varianza, se calculó la humedad del fuste ponderando cada segmento por su correspondiente contenido de humedad. Para ello se determinó el contenido de humedad promedio de cada segmento de volumen (tronco de cono), ponderando por la superficie de cada sección (ambas bases). La humedad promedio del fuste correspondió al promedio ponderado de las humedades por sus correspondientes volúmenes.

3. Metodología

$$\begin{aligned}\text{CHF (V1F)} &= (\text{Área tocón} \cdot \text{Humedad tocón} + \text{Área DAP} \cdot \text{Humedad DAP}) / (\text{Área tocón} + \text{Área DAP}) \\ \text{CHF (V2F)} &= (\text{Área DAP} \cdot \text{Humedad DAP} + \text{Área 50\%H} \cdot \text{Humedad 50\%H}) / (\text{Área DAP} + \text{Área 50\%H}) \\ \text{CHF (V3F)} &= (\text{Área 50\%H} \cdot \text{Humedad 50\%H} + \text{Área Copa} \cdot \text{Humedad Copa}) / (\text{Área 50\%H} + \text{Área Copa}) \\ \text{CHF (ÁRBOL)} &= (\text{V1F} \cdot \text{CHF (V1F)} + \text{V2F} \cdot \text{CHF (V2F)} + \text{V3F} \cdot \text{CHF (V3F)}) / (\text{V1F} + \text{V2F} + \text{V3F})\end{aligned}$$

Dónde:

V1F, V2F y V3F son los correspondientes volúmenes fustales de los tres segmentos.

CHF= contenido humedad promedio fuste

- c. De la corteza del fuste completo. De la misma forma que el fuste, se determinó la humedad promedio de cada segmento ponderando por la sección correspondiente de corteza, calculada como la diferencia de las secciones con y sin corteza. Luego este contenido de humedad se ponderó por los correspondientes volúmenes para obtener la humedad promedio de la corteza por árbol. Para esta determinación se midió los diámetros y espesores, con precisión a 0,5 milímetros, en ocho radiales para las cuatro posiciones de altura (tocón, DAP, 50% de altura y copa).

$$\begin{aligned}\text{CHC (V1C)} &= ((\text{Área tocón con corteza} - \text{Área tocón sin corteza}) \cdot \text{Humedad corteza tocón} + (\text{Área DAP con corteza} - \text{Área DAP sin corteza}) \cdot \text{Humedad corteza DAP}) / ((\text{Área tocón con corteza} - \text{Área tocón sin corteza}) + (\text{Área DAP con corteza} - \text{Área DAP sin corteza})) \\ \text{CHC (V2C)} &= ((\text{Área DAP con corteza} - \text{Área DAP sin corteza}) \cdot \text{Humedad corteza DAP} + (\text{Área 50\%H con corteza} - \text{Área 50\%H sin corteza}) \cdot \text{Humedad corteza 50\%H}) / ((\text{Área DAP con corteza} - \text{Área DAP sin corteza}) + (\text{Área 50\%H con corteza} - \text{Área 50\%H sin corteza})) \\ \text{CHC (V3C)} &= ((\text{Área 50\%H con corteza} - \text{Área 50\%H sin corteza}) \cdot \text{Humedad corteza 50\%H} + (\text{Área Copa con corteza} - \text{Área Copa sin corteza}) \cdot \text{Humedad corteza Copa}) / ((\text{Área 50\%H con corteza} - \text{Área 50\%H sin corteza}) + (\text{Área Copa con corteza} - \text{Área Copa sin corteza})) \\ \text{CHC (ÁRBOL)} &= (\text{V1C} \cdot \text{CHC (V1C)} + \text{V2C} \cdot \text{CHC (V2C)} + \text{V3C} \cdot \text{CHC (V3C)}) / (\text{V1C} + \text{V2C} + \text{V3C})\end{aligned}$$

Dónde:

V1C, V2C, V3C son los correspondientes volúmenes de corteza de los tres segmentos.

CHC= contenido humedad promedio de la corteza del árbol

- d. De las ramas y hojas

Para los restantes componentes se determinó el contenido de humedad por el promedio simple de dos o tres repeticiones por árbol.

3.2.2 Determinación de la densidad básica de la madera

- a. De las muestras individuales. Para la determinación se utilizó como referencia la norma chilena NCH176/2-1986, utilizando los procedimientos contemplados para determinación de densidad en probetas irregulares. Esto es mediante la inmersión de probetas saturadas y medición del desplazamiento volumétrico por diferencia de pesadas, valor que se contrasta con el peso anhidro de la probeta.

Con relación a las densidades básicas de la madera del fuste sin corteza, éstas se determinaron sobre probetas en forma de cuña que comprenden desde el duramen hasta la albura. Según el tamaño se dividieron en dos o tres partes, para obtener datos de madera centro y borde.

- b. Del fuste completo. Para incorporar la variación de la densidad básica según su posición a diferentes alturas del árbol, se siguió un procedimiento similar al anotado para la determinación de la humedad promedio. Es decir, se obtuvo una densidad promedio del fuste ponderando por sus respectivas secciones.

$$\begin{aligned} \text{DBF (V1F)} &= (\text{Área tocón} \cdot \text{DB tocón} + \text{Área DAP} \cdot \text{DB DAP}) / (\text{Área tocón} + \text{Área DAP}) \\ \text{DBF (V2F)} &= (\text{Área DAP} \cdot \text{DB DAP} + \text{Área 50\%H} \cdot \text{DB 50\%H}) / (\text{Área DAP} + \text{Área 50\%H}) \\ \text{DBF (V3F)} &= (\text{Área 50\%H} \cdot \text{DB 50\%H} + \text{Área Copa} \cdot \text{DB Copa}) / (\text{Área 50\%H} + \text{Área Copa}) \\ \text{DBF (ÁRBOL)} &= (\text{V1F} \cdot \text{DBF (V1F)} + \text{V2F} \cdot \text{DBF (V2F)} + \text{V3F} \cdot \text{DBF (V3F)}) / (\text{V1F} + \text{V2F} + \text{V3F}) \end{aligned}$$

Dónde:

V1F, V2F y V3F son los correspondientes volúmenes fustales de los tres segmentos:

$$\text{(V1F)} = (L1/3) \cdot (\text{Área tocón} + \text{Área DAP} + \text{RAIZ} (\text{Área tocón} \cdot \text{Área DAP}))$$

L () = Longitud del segmento de fuste

DBF () = densidad básica promedio fuste

Variabilidad entre madera de albura y duramen para la especie *Araucaria*. Con la finalidad de cuantificar diferencias entre estos dos tipos de madera se realizaron algunos ensayos comparativos para los árboles de diámetros mayores.

- c. De la corteza del fuste completo. Se siguió un procedimiento similar a la determinación de la humedad promedio, es decir ponderando por sus respectivas secciones. Para esta determinación se midió la corteza con precisión a 0,5mm en ocho radiales por sección.

$$\begin{aligned} \text{DBHC (V1C)} &= ((\text{Área tocón con corteza} - \text{Área tocón sin corteza}) \cdot \text{DB corteza tocón} + (\text{Área DAP con corteza} - \text{Área DAP sin corteza}) \cdot \text{DB corteza DAP}) / ((\text{Área tocón con corteza} - \text{Área tocón sin corteza}) + (\text{Área DAP con corteza} - \text{Área DAP sin corteza})) \\ \text{DBC (V2C)} &= ((\text{Área DAP con corteza} - \text{Área DAP sin corteza}) \cdot \text{DB corteza DAP} + (\text{Área 50\%H con corteza} - \text{Área 50\%H sin corteza}) \cdot \text{DB corteza 50\%H}) / ((\text{Área DAP con corteza} - \text{Área DAP sin corteza}) + (\text{Área 50\%H con corteza} - \text{Área 50\%H sin corteza})) \\ \text{DBC (V3C)} &= ((\text{Área 50\%H con corteza} - \text{Área 50\%H sin corteza}) \cdot \text{DB corteza 50\%H} + (\text{Área Copa con corteza} - \text{Área Copa sin corteza}) \cdot \text{DB corteza Copa}) / ((\text{Área 50\%H con corteza} - \text{Área 50\%H sin corteza}) + (\text{Área Copa con corteza} - \text{Área Copa sin corteza})) \\ \text{DBC (ÁRBOL)} &= (\text{V1C} \cdot \text{DBC (V1C)} + \text{V2C} \cdot \text{DBC (V2C)} + \text{V3C} \cdot \text{DBC (V3C)}) / (\text{V1C} + \text{V2C} + \text{V3C}) \end{aligned}$$

Dónde:

V1C, V2C, V3C son los correspondientes volúmenes de corteza de los tres segmentos.

DBC= densidad básica promedio de la corteza del árbol

- d. De las ramas

Para las ramas se determinó la densidad básica por el promedio simple de dos o tres repeticiones por árbol.

3.2.3 Separación de ramillas y hojas

La proporción de los componentes ramas menores y hojas, se determinó por la separación de los componentes sobre muestras secas. Adicionalmente se determinó la proporción de raquis y escamas de *Araucaria* mediante el análisis de una macro muestra de 21 kg.

3.2.4 Determinación del contenido de carbono

Para la determinación del contenido de carbono en la biomasa se utilizó el método gravimétrico. Muestras de 2 gramos de biomasa seca triturada se someten a combustión en mufla, a 500°C durante 6 horas. Dado que la biomasa seca = materia orgánica + cenizas, el contenido de carbono (CC) se obtiene de la relación positiva con la materia orgánica (MO). El coeficiente utilizado fue $MO/CC=1,917$ (Larney *et al.* 2005). No se empleó el convencional factor de Bemmelen de 1,724, que ha sido ampliamente usado desde que fuera presentado por su autor en el año 1891, ya que muchos estudios empíricos posteriores muestran la gran variabilidad del mismo ², lo que sugiere cierta relación con el tipo y composición de la materia orgánica (Perié y Ouimet 2007). En general se estima que el factor Bemmelen es demasiado bajo para la mayoría de las situaciones y podría sobre estimar el contenido de carbono en tejidos vegetales (Larney *et al.* 2005). El estudio de Larney *et al.* 2005, obtuvo un factor de 1,917 mediante correlación, basado en el análisis de 3050 muestras de materia orgánica en diferentes estados de descomposición.

Las determinaciones del presente estudio comprendieron una selección representativa que incluye todos los componentes del árbol y posición en el fuste.

3.2.5 Determinación de la edad de los árboles

Se empleó el método convencional de conteo de anillos con empleo de estéreo microscopio. Se realizó además la medición del ancho de los anillos de crecimiento de los últimos 30 años para la determinación del incremento corriente anual (ICA), mediciones con lupa y micrómetro a 0,1 mm de precisión. Sobre las rodajas del DAP de todos los árboles muestra se midieron cuatro radiales ortogonales con los cuales se obtuvo el promedio del incremento corriente anual por individuo. Este análisis se hizo para apreciar el posible efecto de liberación post incendio del año 2002 y relación con variables climáticas. Con tres de los individuos más longevos se estudió la variación de los incrementos a través del tiempo y se contrastaron con las anomalías de temperatura registradas en el cono sur de América.

² Entre 1,91 y 5,08 en suelos de Brasil (Bianchi *et al.* 2008); entre 1,71 y 2,19 para residuos orgánicos incluyendo residuos de plantas (Navarro *et al.* 1993); entre 1,55 y 2,21 para diferentes tipos de residuos orgánicos municipales y compost (Iglesias y Pérez 1992); entre 1,51 y 2,60 para desechos orgánicos, estiércol y compost (Larney *et al.* 2005); lo que sugiere cierta relación con el tipo y composición de la materia orgánica (Perié y Ouimet 2007). Otra revisión crítica de este factor MO/CC encontró un rango de variación entre 1,4 y 2,25 con un valor medio de 1,9 para estudios empíricos publicados y 2,0 para consideraciones más teóricas (Prybil 2010).

3.3 Análisis estadístico y desarrollo de funciones

El análisis estadístico comprendió tanto la parte descriptiva como de inferencia. En lo esencial se trabajó en el ajuste de diferentes modelos para describir relaciones estadísticamente significativas, con un nivel de confianza del 95%, entre biomasa aérea (BA) y una o dos variables independientes (DAP y altura total). Se probaron 24 modelos simples, polinómicos y transformaciones Box Cox de un factor y no lineales para dos factores, Cuadro 3. La selección de los modelos comprendió comparaciones de términos de error y de ajuste. Entre ellos, un P-valor en la tabla ANOVA menor que 0,05; un estadístico R-Cuadrado superior a 98% que indica el porcentaje de la variabilidad que es explicada por el modelo; y, correlaciones sobre 0,99 indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. También se observó el error estándar del estimador que indica el valor de la desviación estándar de los residuos y el error absoluto medio (MAE) o valor promedio de los residuos. Todos los modelos simples incorporan el estadístico de Durbin-Watson (DW) que examina los residuos, para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Todo valor de P mayor que 0,05 en este estadístico indica ausencia de auto correlación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0% y robustez del modelo. Además, para todos los modelos se informa una expresión del sesgo y error como las diferencias medias agregadas (DIFA) y la raíz del el error medio cuadrático (REMC).

Cuadro 3. Modelos probados en el análisis

Lineal	Y inversa raíz cuadrada de X	Doble inverso
Raíz cuadrada de Y	Y cuadrada raíz cuadrada de X	Y cuadrado X inversa
Exponencial	LOG X	X cuadrado
Y inversa	Multiplicativa	Raíz cuadrada de Y X cuadrado
Y cuadrada	Y inversas LOG X	Y inversa X cuadrado
Raíz cuadrada de X	Cuadrado Y LOG X	Doble cuadrado
Doble raíz cuadrada	X inversa	Transformaciones Box Cox
LOG Y Raíz cuadrada de X	Raíz cuadrada de Y X inversa	No lineales (4)

4 RESULTADOS

Con la finalidad de facilitar la comprensión del proceso de validación de la base de datos y sus resultados, se presentan una serie de análisis previos y complementarios al estudio de funciones de biomasa propiamente tal.

4.1 Relaciones de forma de los árboles muestra

La Figura 2 presenta la distribución de tamaños de árbol incluidos en el estudio de funciones y una relación entre DAP y altura total del fuste, Cuadro 4. Sobre los 70cm de DAP se presenta una fuerte variación de los datos, Figura 2. Esta variabilidad puede deberse entre otros factores a diferencias de profundidad de suelo, altitud y exposición entre los sitios.

Cuadro 4 Análisis de varianza, regresión altura total fuste versus DAP, Araucaria					
Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,198288	1	0,1983	1401,19	0,0000
Residuo	0,00466995	33	0,0001		
Total (Corregido)	0,202958	34			
Estadígrafos del modelo					
Coefficiente correlación		0.9884	Durbin-Watson	1,93792	0,4144
R-cuadrada		97,6991	Auto correlación de residuos	0.0260	
Error estándar del estimador		0,011896			
Error medio absoluto		0.00792877			

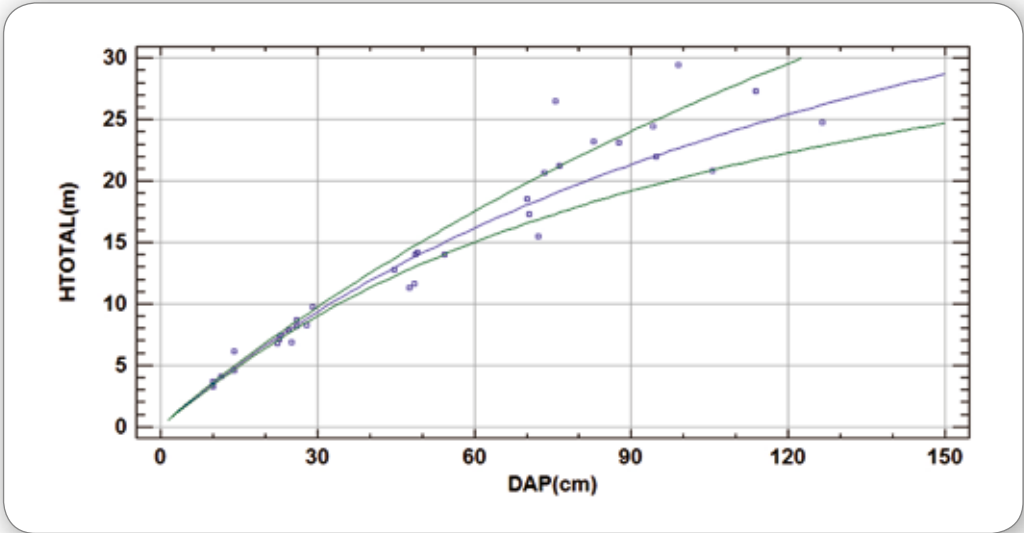


Figura 2.
Relaciones de forma, Araucaria. $HTOTAL= 1/(0,016801 + 2,70668/DAP)$

4.2 Relaciones entre DAP y edad de los árboles muestra

La relación existente entre DAP y edad, permite la estimación de la edad de los árboles de forma aproximada a partir de la medición del DAP, Figura 3. En las áreas de estudio del predio La Fusta, los árboles de diámetros mayores de 100 cm presentaron edades entre 460 y 660 años.

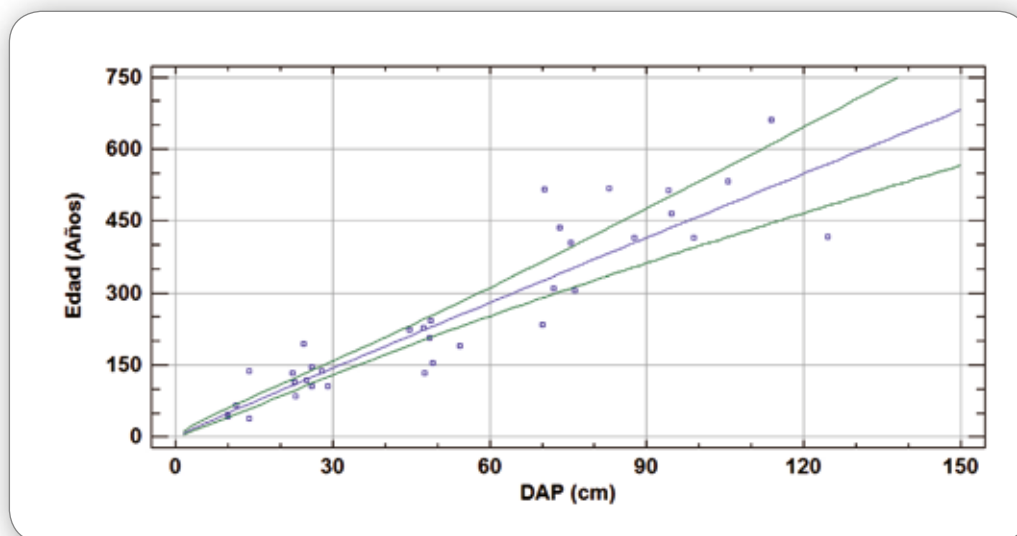


Figura 3.
Estimación de la edad a partir del DAP, Araucaria. Coeficiente de Correlación = 0,94;
R-cuadrada = 88,56 por ciento; Error estándar del estimador = 0,2647; Error absoluto
medio = 0,2066; Estadístico Durbin-Watson = 0,2042 (P=0,0000).
Función: $\exp(1,67237 + 0,96669 \cdot \ln(\text{DAP}))$

Variaciones en el incremento anual.

Las mediciones de incremento corriente anual expresado como incremento diamétrico en mm (incremento radial x2) muestra una tendencia creciente a partir del año 1995, Figura 4. Cabe hacer notar que el incendio forestal en el sector de los árboles muestreados ocurrió en enero de 2002.

Mediante análisis de varianza bi-variado se contrastaron los tres últimos decenios, A (2003-2012), B (1993-2002) y C (1983-1992), encontrándose diferencias significativas al 95% de confianza debidas tanto a los periodos como a los sectores, Cuadro 5. Desde 1983 a 1992 el incremento en diámetro para los árboles estudiados no supera 2,8mm/año, mientras el decenio siguiente (1993-2002) alcanza 4,2 mm y el posterior al siniestro (2003-2012) supera los 6,2mm/año, Cuadro 6; de la misma forma se presenta mayor variabilidad en el último decenio, Figura 5.

Si bien el mayor incremento del último decenio puede ser consecuencia de la liberación causada por el siniestro para algunos árboles, no se comprobó con mediciones en sectores no afectados. La tendencia del decenio anterior (1993-2002) ya muestra un

4. Resultados

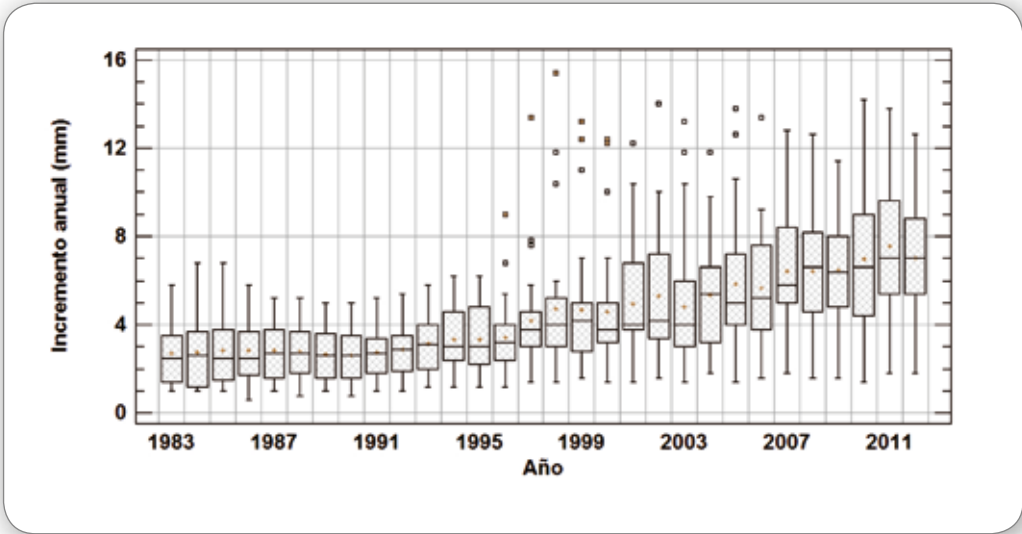


Figura 4.
Incremento diamétrico medio anual (mm), últimos 30 años, Araucaria.
Promedio de todos los árboles muestra.

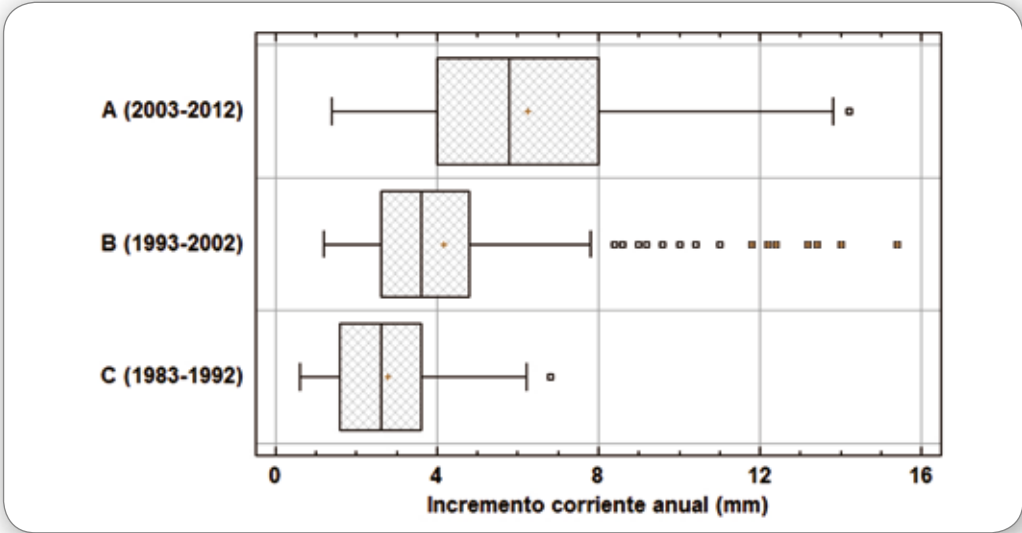


Figura 5.
Variabilidad del incremento diamétrico medio anual, Araucaria

Cuadro 5. ANOVA para incremento de diámetro anual (mm), Araucaria					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Periodo	1779	2	890	193,48	0,0000
B:Sector	859	3	286	62,25	0,0000
RESIDUOS	3922	853	4,60		
TOTAL (Corregido)	6542	858			

Cuadro 6. Resumen estadístico para incremento en diámetro (mm), Araucaria

Periodo	Recuento	Promedio (mm)	Desviación Estándar	Error Estándar	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Grupos homogéneos(*)
A 2003-2012	290	6,2579	2,9609	0,1739	1,4	14,2	A
B 1993-2002	289	4,1689	2,4600	0,1447	1,2	15,4	B
C 1983-1992	280	2,7693	1,3451	0,0804	0,6	6,8	C
Total	859	4,4179	2,7613	0,0942	0,6	15,4	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas

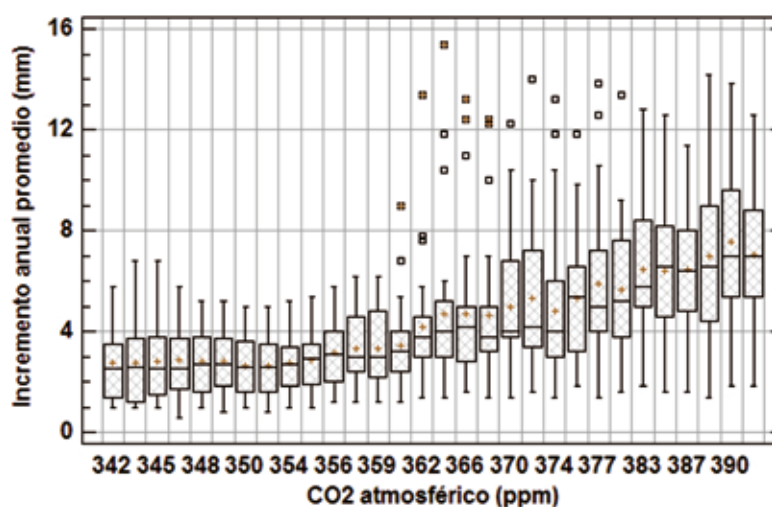


Figura 6.
Incremento diamétrico anual en relación al aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, Araucaria.

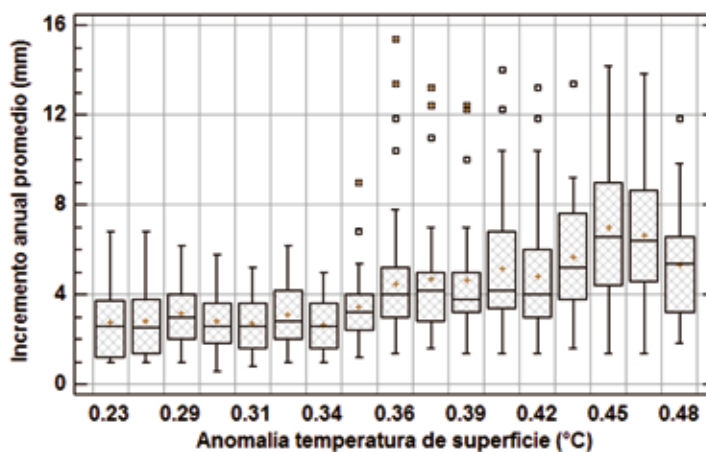


Figura 7.
Incremento diamétrico anual en relación al aumento (anomalía) de la temperatura en la superficie, Araucaria.

4. Resultados

aumento de las tasas de crecimiento, lo cual demostraría la influencia de otros factores no estudiados como ciertas condiciones climáticas (disminución de precipitaciones, aumento de temperatura, aumento CO_2 atmosférico); estos tres factores tienen incidencia significativa sobre el incremento diamétrico anual al 95% de confianza, Figuras 6 y 7. En consecuencia, el incendio no afecta la construcción de los modelos y su utilización en otros sitios no afectados por el siniestro.

El mismo análisis de varianza demostró que el segundo sector de los cuatro indicados en la Figura 1 y Cuadro 1, presenta mayores crecimientos que el resto, probablemente debido a condiciones sitio-específicas, entre ellas mayor disponibilidad de agua por cercanía sector más bajo y húmedo, Figura 8.

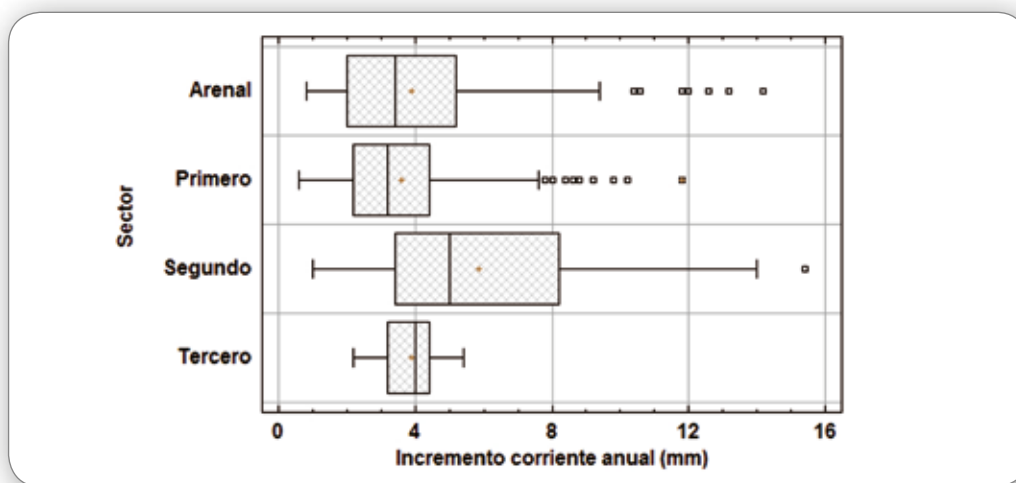


Figura 8.
Variabilidad de incremento anual por sectores de muestreo, Araucaria.
Claves de sectores en Figura 1, Cuadro 1.

El análisis del crecimiento anual para algunos de los árboles más longevos muestra incrementos más modestos en las centurias anteriores, Figura 9. Los incrementos promedio presentan gran variabilidad interanual, disminuyendo desde 2,84mm para la centuria 2012-1913 con puntas sobre 7-8mm/año, 1,58mm para la centuria 1912-1813, hasta 1,11mm para la centuria 1412-1313 con puntas bajo 2mm/año. El aumento de los incrementos sigue la tendencia del incremento de la temperatura y concentración de CO_2 en la atmósfera los últimos 60 años. También se aprecia una variabilidad sitio-específica en el crecimiento de estos árboles y sólo en los últimos presentan una tendencia común de incremento.

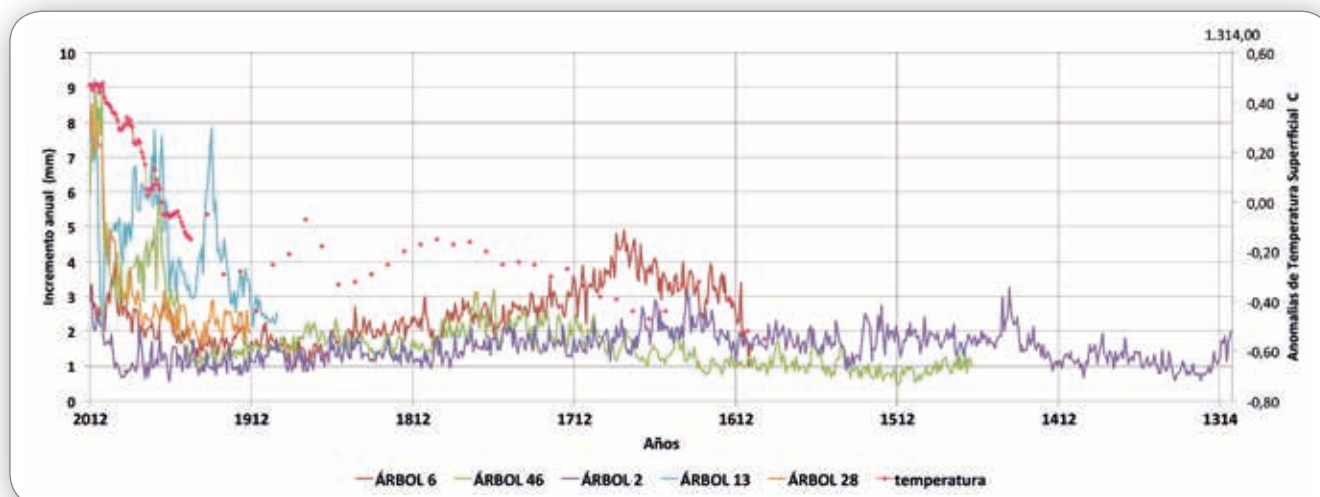


Figura 9.
Incremento anual (mm) y anomalía temperatura cono sur de América del Sur,
Araucaria. Árboles 13 y 28 se midieron sólo los últimos 100 años.

4.3 Participación de los componentes del árbol

Se determinó la participación de cada componente en base peso seco, resultando el fuste sin corteza 55% del peso de la biomasa aérea, Cuadro 7, Figura 10. Este estudio no comprende la estimación de la biomasa radical, la que se espera poder medir en etapas siguientes.

Cuadro 7. Porcentaje promedio por componente con intervalos de confianza del 95%, *Araucaria*

Componente	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar
CORTEZA	36	5,50	1,8136	0,3023
FUSTE	36	55,30	10,5185	1,7531
HOJA	36	18,44	8,2603	1,3767
RAMA	36	20,76	5,0696	0,8449

El estudio de las rodelas en el laboratorio, permitió además del conteo de anillos y análisis de incrementos, la medición precisa de los espesores de corteza y estudiar las variaciones según posición en el árbol, Figura 11 y Cuadro 8. El espesor de la corteza tiende a aumentar con la edad del árbol, Figura 12.

4. Resultados

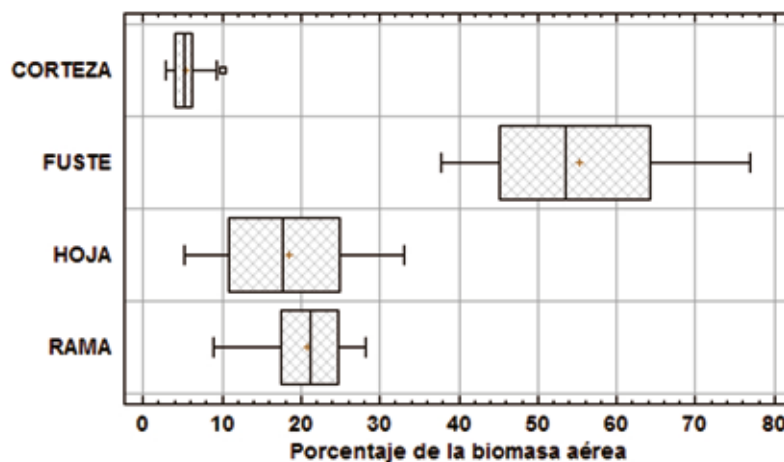


Figura 10.
Variabilidad en la participación de los componentes del árbol, Araucaria

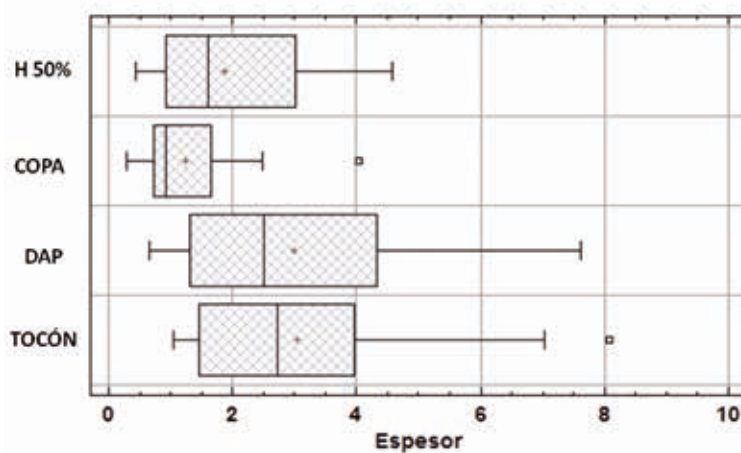


Figura 11.
Variabilidad de espesor de corteza en cm por posición en el árbol, Araucaria.

Cuadro 8. Resumen estadístico para espesor de corteza (cm), Araucaria

Posición	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo	Grupos Homogéneos(*)
P50H	36	1,8753	1,12504	0,1875	0,43	4,57	A
COPA	36	1,24444	0,80737	0,1346	0,29	4,03	A
DAP	36	2,9822	2,0037	0,3339	0,65	7,61	B
TOCON	36	3,0342	1,7439	0,2906	1,05	8,08	B
Total	144	2,2840	1,6658	0,1388	0,29	8,08	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas

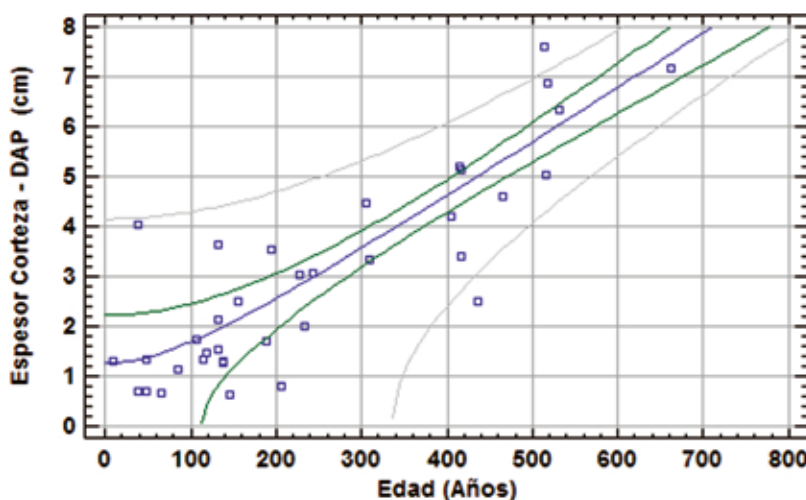


Figura 12.

Relación funcional entre el espesor de corteza (cm) y la edad, Araucaria. Espesor de corteza al DAP= RAIZ $(1,59726 + 0,000123241 \cdot \text{Edad}^2)$. Coeficiente de Correlación = 0,877128, R-cuadrada = 76,9353 por ciento, Error estándar del estimador = 7,50795, Error absoluto medio = 4,93434, Estadístico Durbin-Watson = 2,1914 (P=0,6895).

Coeficiente de expansión de biomasa.

Otra forma común de expresar la relación entre el peso del fuste y la biomasa aérea del árbol es a través del coeficiente de expansión de biomasa (BEF). De las mediciones y pesajes es posible señalar, para la especie Araucaria, una relación biomasa aérea (BA) a biomasa fustal sin corteza (BF) igual a 1,8083 (BEF). Este coeficiente muestra una tendencia decreciente con el tamaño (DAP, Área basal y edad) del árbol, Figura 13 y 14. Los coeficientes de expansión son útiles cuando se cuenta sólo con estimaciones fustales convencionales de volumen. Primero se pasa de volumen a peso por la densidad básica y luego se expande a los restantes componentes del árbol.

4. Resultados

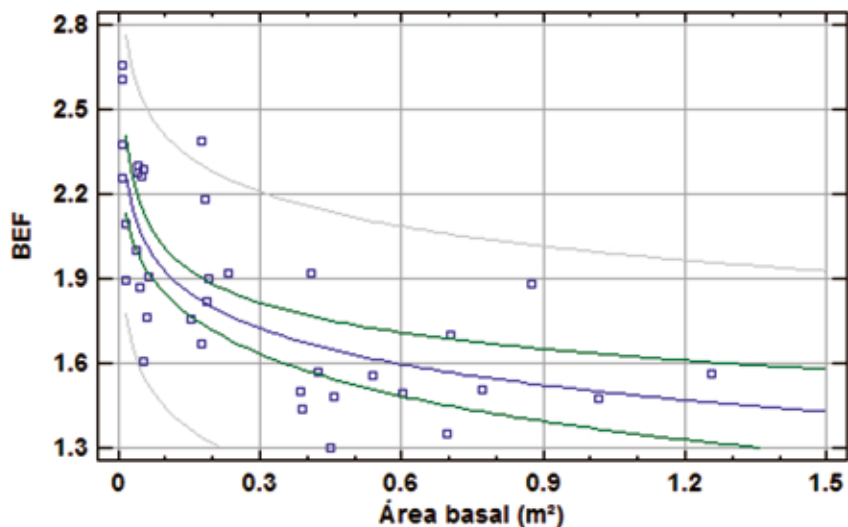


Figura 13.

Relación funcional entre el factor de expansión (BEF) y el área basal (m^2), *Araucaria*. $BEF = 1,50252 - 0,182765 \cdot \ln(AB)$. Coeficiente de Correlación = $-0,773261$, R-cuadrada = 59,7932 por ciento, Error estándar del estimador = 0,23403, Error absoluto medio = 0,190969, Estadístico Durbin-Watson = 1,13133 ($P=0,0023$). BEF= biomasa aérea total dividido por biomasa fuste sin corteza

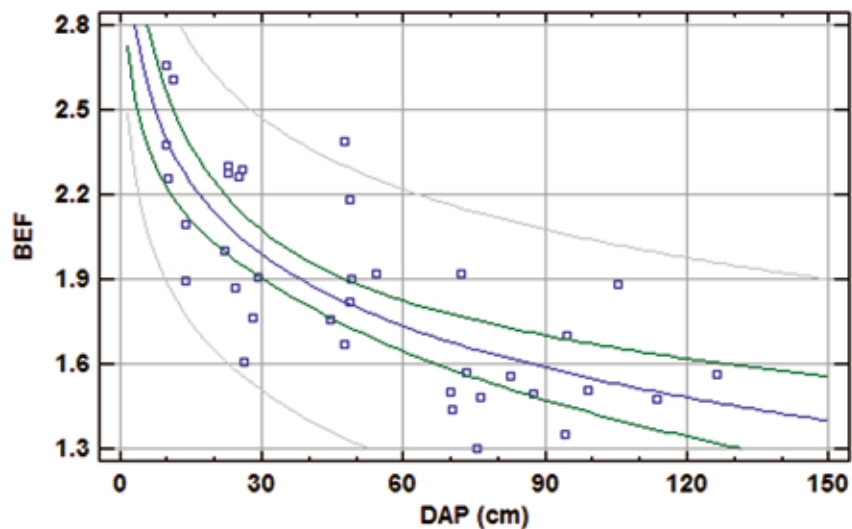


Figura 14.

Relación funcional entre el factor de expansión (BEF) y el DAP (cm), *Araucaria*. $BEF = 3,22964 - 0,365448 \cdot \ln(DAP)$. Coeficiente de Correlación = $-0,773362$, R-cuadrada = 59,8089 por ciento, Error estándar del estimador = 0,233985, Error absoluto medio = 0,190955, Estadístico Durbin-Watson = 1,13118 ($P=0,0023$).

4.4 Variaciones del contenido de humedad

El contenido de humedad (estado verde) en los distintos componentes del árbol, para muestras tomadas entre los meses de abril y mayo 2012, varía ampliamente entre 50% y 250% base peso seco. El componente que muestra mayor rango de variabilidad es la corteza y en parte puede atribuirse tanto a las diferentes condiciones climáticas durante el proceso de muestreo como al estado de desarrollo, menor humedad se aprecia en la corteza de árboles añosos, Cuadro 9 y Figura 15.

Mediante análisis de varianza se determinó diferencias significativas en el contenido de humedad entre las medias del fuste y los restantes componentes del árbol al 95% de confianza, Cuadro 10. Por esta razón para obtener la biomasa seca de cada árbol se consideró la humedad de cada componente por separado.

De la misma forma se determinó la variabilidad de la humedad en el fuste según posición en altura del árbol. El ANOVA correspondiente muestra diferencias significativas entre la media de contenido de humedad entre un nivel de posición y otro, razón por la cual el cálculo de la humedad promedio del fuste se determinó como el promedio ponderado a los volúmenes de tres secciones: sección 1 (Tocón-DAP), sección 2(DAP-P50%HT) y sección 3 (P50%HT-COPA), Cuadro 11. El dato de COPA corresponde a 90% de altura total (HT).

La humedad tiende a aumentar hacia la parte alta de los árboles y se identificaron dos grupos homogéneos, uno para Tocón y DAP, y otro para P50%H y COPA, Cuadro 12, Figura 16.

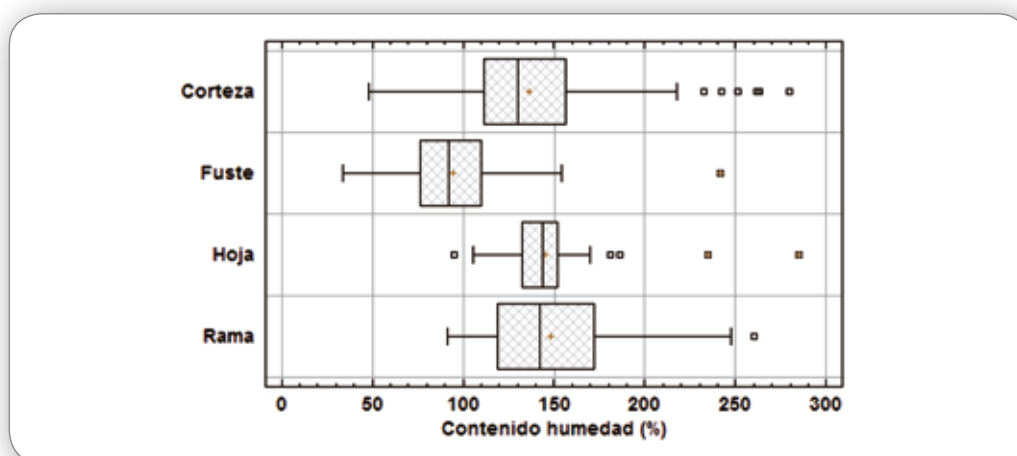


Figura 15.
Variabilidad del contenido de humedad por componente, Araucaria

4. Resultados

Cuadro 9. Medias para contenido de humedad por componente, Araucaria

Componente	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Grupos Homogéneos(*)
Corteza	284	135,72	35,6401	2,1149	B
Fuste	201	93,50	23,1514	1,6329	A
Hoja	71	143,26	19,5397	2,3189	B C
Rama	69	147,99	37,6566	4,5333	C
Total	625	124,36	37,5911	1,5036	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas

Cuadro 10. ANOVA para contenido de humedad por componente del árbol, Araucaria

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	283850	3	94617	96,22	0,0000
Intra grupos	611632	622	983		
Total (Corregido)	895483	625			

Cuadro 11. ANOVA para contenido de humedad fuste por posición, Araucaria

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	33561,9	3	11187,3	29,93	0,0000
Intra grupos	73635,1	197	373,8		
Total (Corregido)	107197,0	200			

Cuadro 12. Medias para contenido de humedad fuste por posición, Araucaria

Posición en altura	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Grupos Homogéneos (*)
COPA	42	111,84	22,19	3,42	B
P50%HT	42	105,01	20,23	3,12	B
DAP	44	85,34	17,14	2,58	A
TOCON	73	81,25	18,27	2,14	A
Total	201	93,50	23,15	1,63	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas

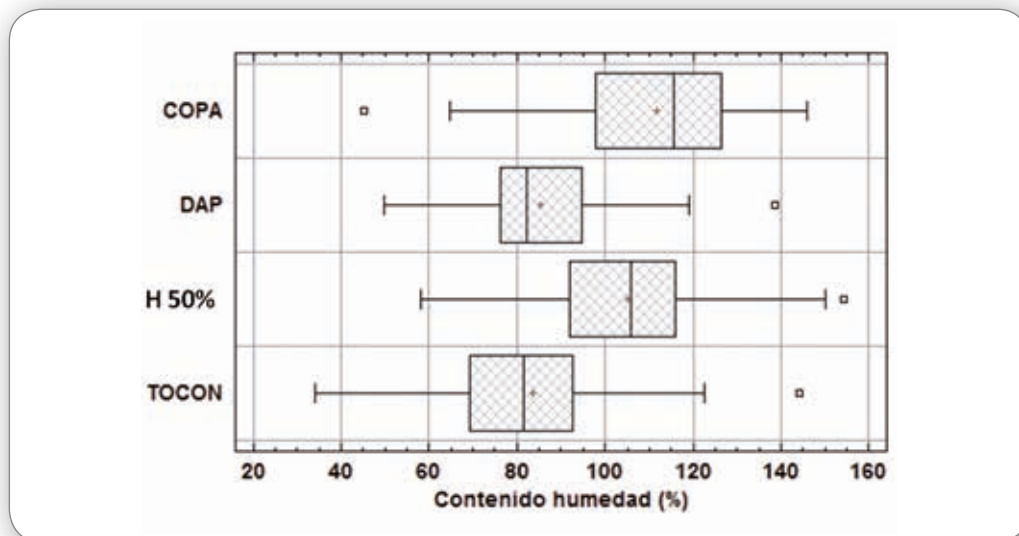


Figura 16.
Variabilidad del contenido de humedad del fuste por posición, Araucaria

4.5 Variaciones de la Densidad Básica (DB)

Se determinó la densidad básica de cada árbol y analizó las diferencias significativas entre componentes del árbol y diferentes posiciones en el fuste. Se consideraron cuatro alturas y mediciones de densidad en maderas de albura y duramen. El ANOVA

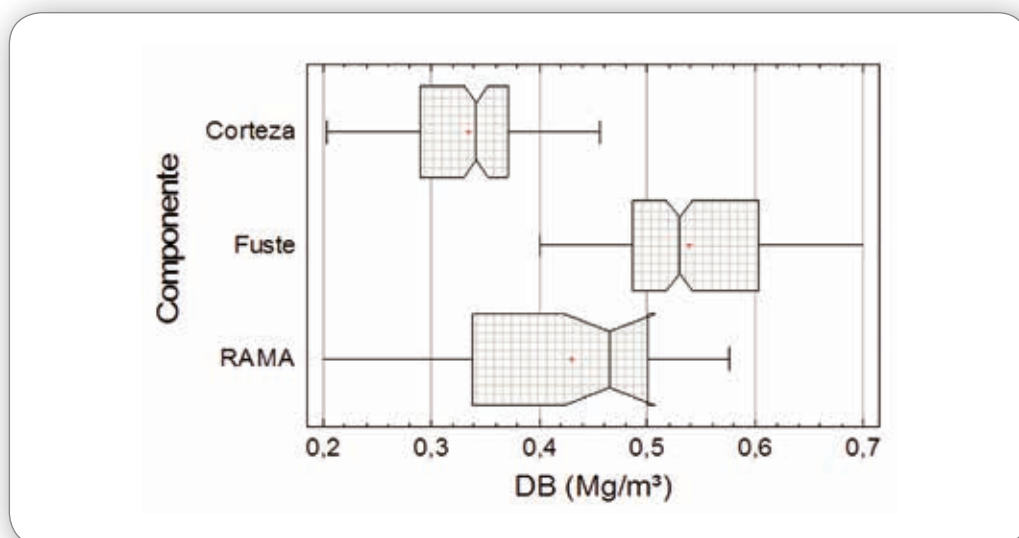


Figura 17.
Variabilidad densidad básica (DB) por componentes, Araucaria.
(1 Mg/m^3 = 1 ton/m^3 = 1 g/cm^3)

4. Resultados

determinó diferencias significativas como se aprecia en el resultado del análisis y prueba de rangos múltiples, Cuadro 13 y 14, Figura17. La corteza llega a tener hasta 40% menos densidad que la madera del fuste y las ramas presentaron la mayor variabilidad.

Aun cuando la densidad básica presenta una dispersión moderada, se analizó la variabilidad según la posición (altura) en el árbol, determinándose diferencias significativas desde el tocón hasta la copa, Cuadro 15 y 16, Figura 18. La densidad varía hasta un 15%, disminuyendo a medida que sube en el árbol.

Cuadro 13. Medias para densidad básica por componente con intervalos de confianza del 95,0%, Araucaria.

Componente	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Grupos Homogéneos (*)
Corteza	144	0,3346	0,0539	0,0045	A
Fuste	212	0,5392	0,0724	0,0050	C
RAMA	36	0,4294	0,1031	0,0172	B
Total	392	0,4539	0,1187	0,0060	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas.

Cuadro 14. ANOVA para densidad básica por componente, Araucaria

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3,61314	2	1,8066	371,11	0,0000
Intra grupos	1,8937	389	0,0049		
Total (Corregido)	5,5068	391			

Cuadro 15. Cuadro ANOVA para densidad básica por posición en el árbol, Araucaria.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,3704	3	0,1235	34,93	0,0000
Intra grupos	0,7353	208	0,0035		
Total (Corregido)	1,1058	211			

Cuadro 16. Resumen estadístico para densidad básica (Mg/m³), Araucaria

Posición	Casos	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Grupos Homogéneos (*)
1 Tocón	71	0,5753	0,0734	0,0087	A
2 DAP	55	0,5712	0,0534	0,0072	A
3 P50%H	49	0,4834	0,0492	0,0070	B
4 Copa	37	0,4961	0,0495	0,0081	B
Total	392	0,4539	0,1187	0,0060	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas.

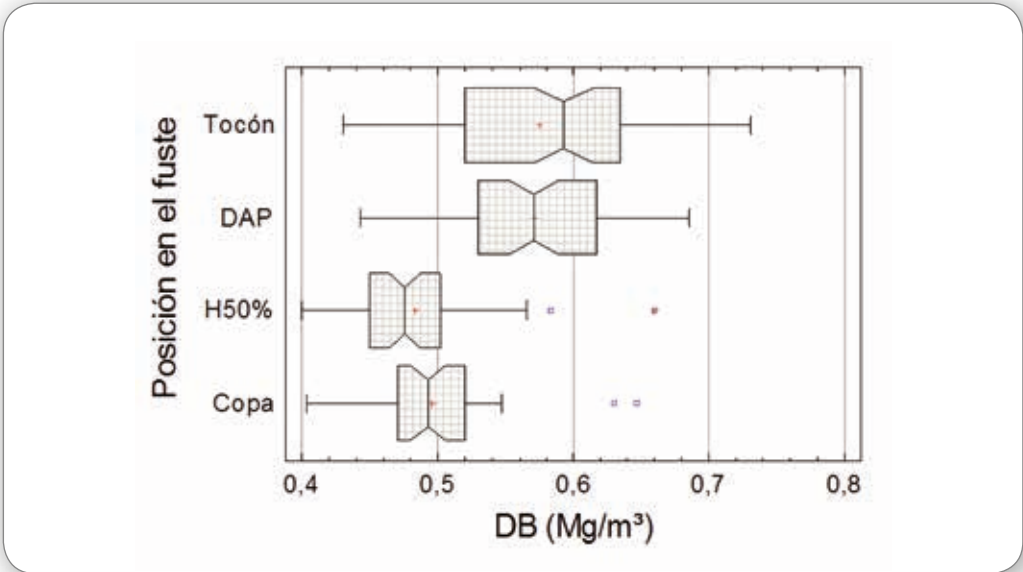


Figura 18. Variabilidad densidad básica(DB) según posición en el fuste, Araucaria.

En rodela se obtuvo sub muestras de densidad básica para determinar diferencias entre madera de albura (A) y duramen (B, C y D). La posición (D) corresponde a madera que incorpora la médula. En árboles de diámetros menores se obtuvo sólo muestras A y B, Cuadro 17 y 18, Figura 19. Las secciones se identifican desde afuera hacia adentro por las letras A, B, C, D. La madera de duramen presenta 21,6% mayor densidad que madera de albura.

Cuadro 17. ANOVA para densidad básica por condición, Araucaria					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,1732	3	0,0577	14,32	0,0000
Intra grupos	0,4230	105	0,0040		
Total (Corregido)	0,5962	108			

Cuadro 18. Resumen estadístico para densidad básica según posición en rodela, Araucaria					
Condición	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Grupos Homogéneos (*)
A: Albura	45	0,4998	0,0377	0,0056	A
B: Medio	46	0,5670	0,0766	0,0113	B
C: Duramen	15	0,6077	0,0819	0,0211	C
D: Médula	3	0,5387	0,0375	0,0217	A B C
Total	109	0,5441	0,0743	0,0071	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas.

4. Resultados

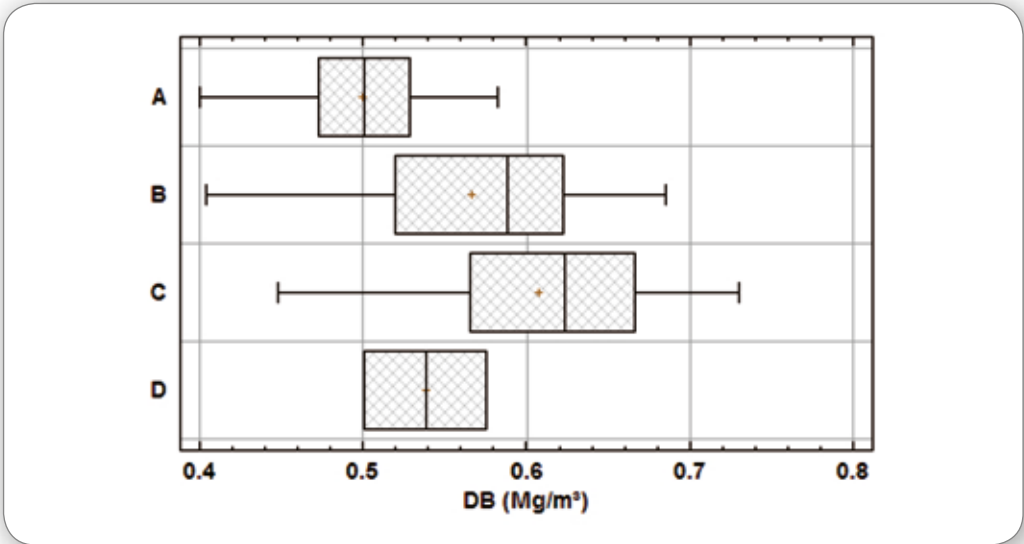


Figura 19.
Variación de la densidad básica según posición en la rodela, Araucaria.
Desde afuera hacia adentro: (A) albur; (B) medio, (C) duramen, (D) médula.

4.6 Contenido de carbono

Los resultados muestran diferencias significativas en el contenido de carbono de los componentes del árbol. Este se expresa como fracción de la biomasa, sin dimensión (kg/kg) o bien en porcentaje. El mayor contenido aparece asociado a la madera de fuste y el menor a las hojas, Cuadro 19 y 20, Figura 20.

Cuadro 19. Resumen estadístico para contenido de carbono (kg/kg), Araucaria

Componente	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Grupos Homogéneos (*)
Corteza	44	0,4992	0,0047	0,0007	B
Fuste	80	0,5176	0,0035	0,0004	D
Hoja	20	0,4938	0,0039	0,0009	A
Rama	8	0,5051	0,0067	0,0024	C
Total	152	0,5085	0,0107	0,0009	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas.

Cuadro 20. Cuadro ANOVA para contenido de carbono por componente, Araucaria

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0149	3	0,0049	289,94	0,0000
Intra grupos	0,0025	148	0,000017		
Total (Corregido)	0,0174	151			

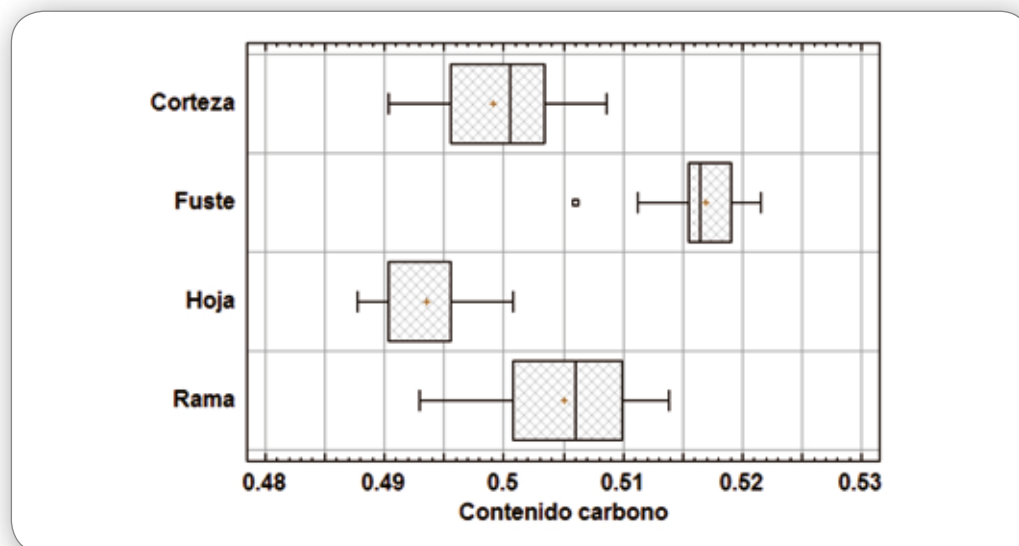


Figura 20.
Variación del contenido de carbono por componente, Araucaria.

Con la finalidad de encontrar el origen de la variabilidad en el contenido de carbono en el fuste, a pesar de ser moderada, se analizó la existencia de diferencias respecto de la posición de la madera en el árbol, Cuadro 21 y 22, Figura 21. No obstante la diferencia anotada para la posición DAP, las diferencias no son de importancia, por lo que el contenido de carbono se informará de forma agregada (Total por árbol) para las cuatro posiciones en el fuste.

Cuadro 21. ANOVA para contenido de carbono posición, Araucaria

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,000103	3	0,0000343521	3,01	0,0355
Intra grupos	0,000868	76	0,0000114275		
Total (Corregido)	0,000971	79			

Cuadro 22. Resumen estadístico para contenido de carbono según posición en el árbol, Araucaria

Posición	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Grupos Homogéneos
COPA	32	0,5190	0,0028	0,0005	B
DAP	20	0,5167	0,0043	0,0010	A
P50HT	8	0,5176	0,0026	0,0009	AB
TOCON	20	0,5165	0,0035	0,0008	A
Total	80	0,5176	0,0035	0,0004	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas.

4. Resultados

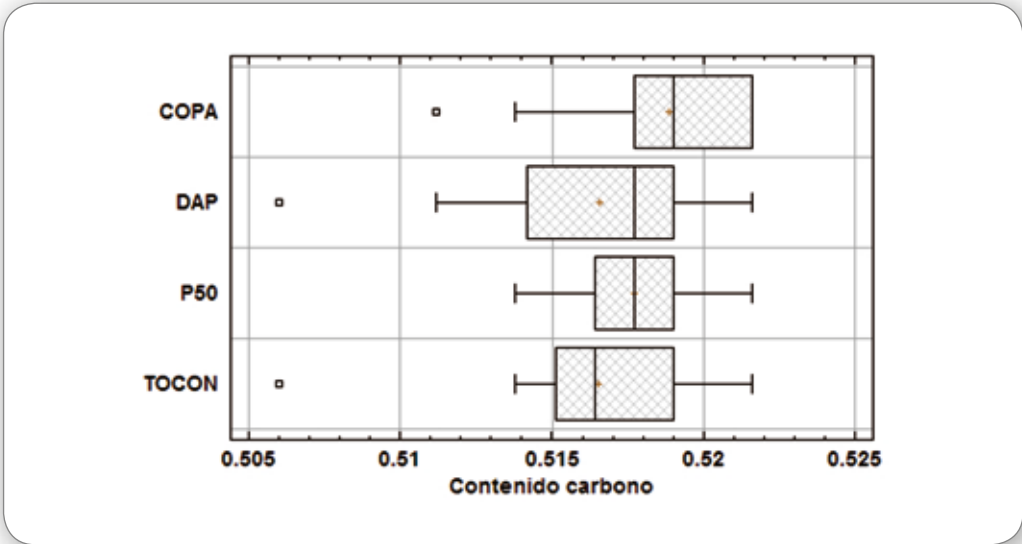


Figura 21.
Variación del contenido de carbono según posición en el fuste, Araucaria

4.7 Contenido de cenizas

Como parte del proceso de determinación del contenido de carbono se obtuvo el contenido de cenizas, Cuadro 23 y 24, Figura 22. La corteza como la gran mayoría de las especies arbóreas presenta mayor contenido de cenizas que la madera de fuste.

Cuadro 23. Resumen Estadístico para Ceniza, Araucaria

Componente	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Error Estándar	Grupos Homogéneos
Corteza	44	4,3091	0,9093	0,1371	C
Fuste	80	0,7743	0,6484	0,0785	A
Hoja	20	5,3750	0,7232	0,1617	D
Rama	8	3,1875	1,2800	0,4526	B
Total	152	2,5299	2,0610	0,1672	

(*) A igual letra no existen diferencias significativas.

Cuadro 24. Tabla ANOVA para Ceniza por Componente, Araucaria

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	551,219	3	183,74	301,56	0,0000
Intra grupos	90,1762	148	0,61		
Total (Corregido)	641,395	151			

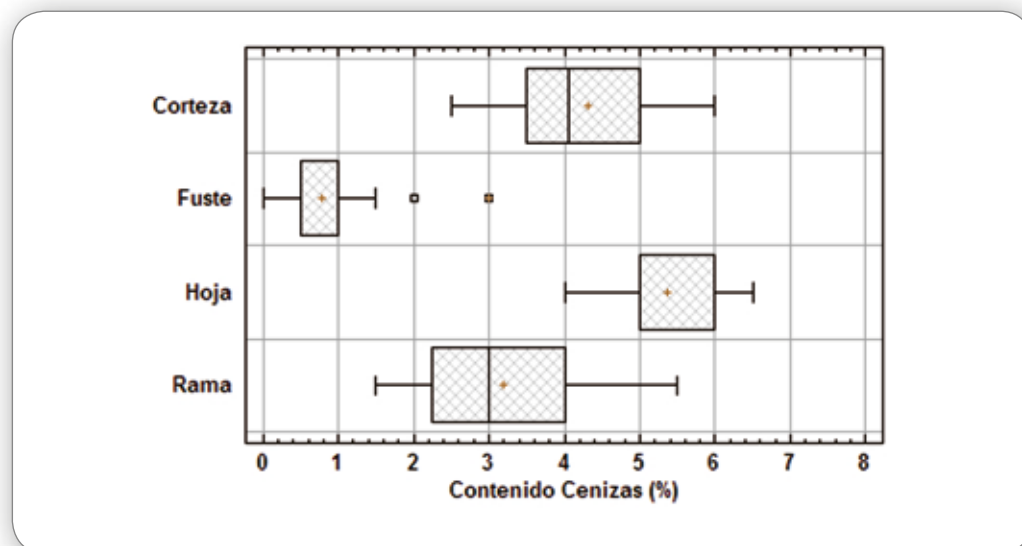


Figura 22.
Variación del contenido de cenizas por componente, Araucaria

4.8 Desarrollo de funciones alométricas para la especie Araucaria

4.8.1 Biomasa aérea

Los principales modelos seleccionados corresponden a modelos multiplicativos y otros no lineales, Cuadro 25. La biomasa aérea en peso seco se identifica como BA, el diámetro a la altura del pecho con corteza como DAP y la altura total del fuste como HT. Los errores de los modelos son válidos para el rango de DAP comprendido entre 10cm y 126,4cm.

Cuadro 25. Modelos seleccionados para biomasa aérea (BA), Araucaria

Tipo	Forma	Variable independiente	Variables dependientes
Multiplicativo	$Y = a \cdot X^b$	BA (kg)	DAP (cm)
No lineal	$Y = \exp(a + b \cdot X_1 + c \cdot X_2)$	BA (kg)	DAP (cm), HT (m)
Transformaciones	Box Cox (Y) = $a + b \cdot X$	Box Cox	BA (kg) DAP (cm)
Box Cox	$Y = 1 + (Y^c - 1)/(c \cdot d^d)$		
Polinomial	$Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2$	BA (kg)	DAP (cm), HT (m)

Los cuadros siguientes resumen los estadísticos de los diferentes modelos ajustados seleccionados, en especial los términos de error, Cuadros 26 a 28 y Figuras 23 a 24. El modelo con menor error (18,49%) y sin sesgo (0,58%) corresponde a uno no lineal con el DAP y la altura total como variables independientes, el Modelo 4, Cuadro 29.

4. Resultados

Cuadro 26. Coeficientes de regresión modelo BA multiplicativo (Modelo 1)

Especie	Araucaria		DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm
Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P	
Intercepto	-2,2549	0,1447	-15,5789	0,0000	Intercepto= LN(a)
Pendiente	2,3987	0,0382	62,6746	0,0000	
Modelo	BA (kg) = EXP (-2,25492 + 2,3987*LN (DAP))				$Y = a \cdot X^b$
Estadígrafos	Coeficiente de Correlación = 0,9957; R-cuadrada = 99,1419 por ciento Error estándar del estimador = 0,174302; Error absoluto medio = 0,135526; Estadístico Durbin-Watson = 2,29921 (P=0,8015) REMC=24,70%; DIFA=2,81%				

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	119,341	1	119,341	3928,11	0,0000
Residuo	1,0329	34	0,0304		
Total (Corregido)	120,374	35			

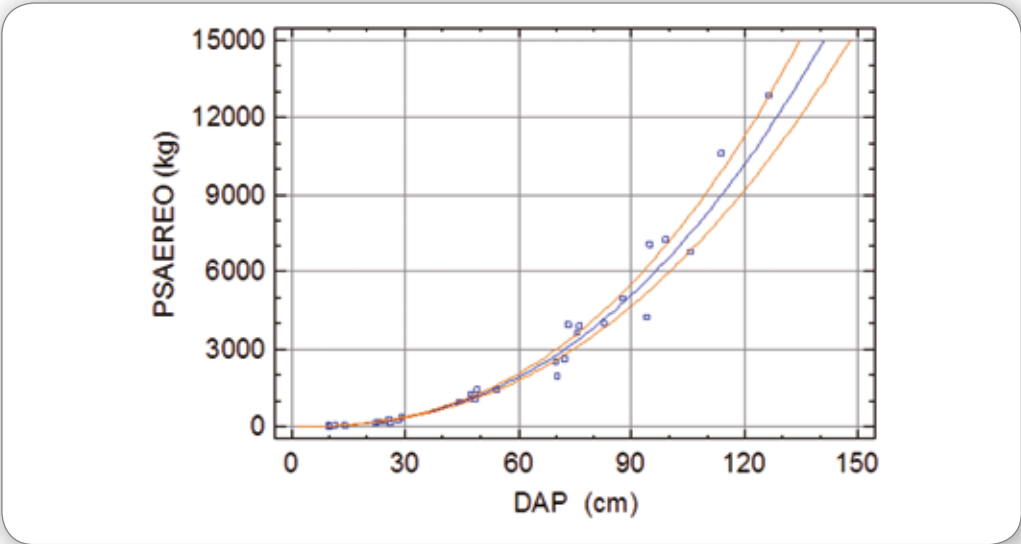


Figura 23.
Modelo 1, PSAEREO = biomasa aérea (kg) en función del DAP (cm), Araucaria.

Cuadro 27. Coeficientes de regresión modelo BA Box Cox (Modelo 2)

Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm	
Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P	
Intercepto	97,9793	52,6909	1,8595	0,0716	
Pendiente	44,0011	0,85304	51,581	0,0000	
Modelo	Box Cox(BA) = 97,9793 + 44,0011*DAP(cm) Dónde: Box Cox(BA) = $1 + \frac{(BA^{0,351}-1)}{(0,351*759,083^{-0,649})}$				Potencia = 0,351 Cambio = 0,0
Estadísticos	Coeficiente de Correlación = 0,9937; R-cuadrada = 98,74 por ciento Error estándar del estimador = 169,193 REMC= 20,32% ; DIFA= 0,56%				

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	7,61627E7	1	7,61627E7	2660,6	0,0000
Residuo	973289,0	34	28626,2		
Total (Corregido)	7,71359E7	35			

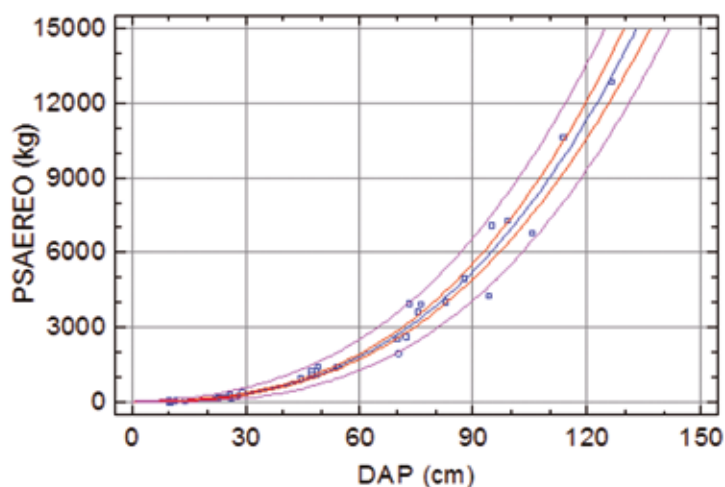


Figura 24.
Modelo 2 Box Cox, PSAEREO = biomasa aérea (kg) en función del DAP (cm),
Araucaria

4. Resultados

Cuadro 28. Coeficientes de regresión modelo BA con dos variables independientes (Modelo 3)

Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm
Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Intervalo confianza a 95%	
			Asintótico Inferior	Asintótico Superior
a	5,4417	0,1629	5,1098	5,7736
b	0,0257	0,0012	0,0232	0,0282
c	0,032	0,0074	0,0168	0,0471
Modelo	BA (kg) = EXP (5,44174+0,0257348*DAP+0,0319936*HT)			
Estadígrafos	R-Cuadrada = 97,38 por ciento; Error estándar del estimador = 531,061; Error medio absoluto = 359,373; Estadístico Durbin-Watson = 1,96819 REMC= 24,7% ; DIFA= 2,81%			

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio
Modelo	5,47252E8	3	1,82417E8
Residuo	9,02482E6	32	282026,0
Total	5,56277E8	35	
Total (Corregido)	3,44702E8	34	

Cuadro 29. Coeficientes de regresión modelo BA con dos variables independientes (Modelo 4)

Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Intervalo confianza a 95%	
			Asintótico Inferior	Asintótico Superior
d	-699,191	256,998	-1223,34	-175,04
a	6,17466	0,257408	5,64967	6,69965
b	0,0226917	0,00134097	0,0199568	0,0254266
c	0,0195849	0,00686141	0,00559091	0,0335789
Modelo	BA (kg) = -699,191+EXP(6,17466+0,0226917*DAP+0,0195849*HT			
Estadígrafos	R-Cuadrada = 98,0044 por ciento; Error estándar del estimador = 472,785 Error medio absoluto = 242,51; Estadístico Durbin-Watson = 2,09615 REMC= 18,49%; DIFA = 0,58%			

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio
Modelo	5,52816E8	4	1,38204E8
Residuo	6,92929E6	31	223526,
Total	5,59745E8	35	
Total (Corregido)	3,47225E8	34	

Densidad de biomasa por hectárea. La elección del modelo además de los términos de error, debe considerar la disponibilidad de información. Los modelos simples de una variable independiente (DAP) son útiles cuando no se dispone de la altura individual de los árboles. Para obtener la densidad de biomasa en toneladas por hectárea, basta aplicar los modelos sobre las tablas de rodal.

4.8.2 Funciones por componente

Los modelos para los componentes del árbol siguen una construcción semejante al modelo de árbol completo. La biomasa de los componentes se expresa como HOJAS (kg) para la biomasa del follaje, RAMAS (kg) para la biomasa de ramas, Cuadros 30 a 35, Figuras 25 a 27.

Cuadro 30. Coeficientes de regresión modelo HOJAS no lineal una variable independiente (Modelo 5)

Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm	
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Intervalo confianza a 95%		Estimaciones iniciales de los parámetros:
			Asintótico Inferior	Asintótico Superior	
c	1,51381	44,8140	-89,6612	92,6889	c = 0,1
a	3,64839	0,4405	2,7521	4,5446	a = 0,1
b	0,02868	0,0034	0,0218	0,0355	b = 0,1
Modelo	HOJAS (kg) = 1,51381+EXP(3,64839+0,0286759*DAP)				
Estadígrafos	R-Cuadrada = 89,9515 por ciento; Error estándar del estimador = 105,525; Error medio absoluto (MAE) = 71,6829; Estadístico Durbin-Watson = 1,53356				

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio
Modelo	6,05455E6	3	2,01818E6
Residuo	367473,	33	11135,5
Total	6,42202E6	36	
Total (Corregido)	3,65701E6	35	

Cuadro 31. Coeficientes de regresión modelo multiplicativo HOJAS (Modelo 6)

Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm	
Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico		Estimaciones iniciales de los parámetros:
			T	Valor-P	
Intercepto	-2,11666	0,313186	-6,7585	0,0000	Intercepto = LN(a)
Pendiente	1,87393	0,082812	22,6288	0,0000	
Modelo	HOJAS (kg) = EXP (-2,11666 + 1,87393*LN(DAP))				Y = a*X ^b
Estadígrafos	Coeficiente de Correlación = 0,968368; R-cuadrada = 93,7736 por ciento; Error estándar del estimador = 0,377148; Error absoluto medio = 0,278515; Estadístico Durbin-Watson = 1,47783 (P=0,0472)				

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	72,8362	1	72,8362	512,06	0,0000
Residuo	4,83618	34	0,142241		
Total (Corregido)	77,6724	35			

4. Resultados

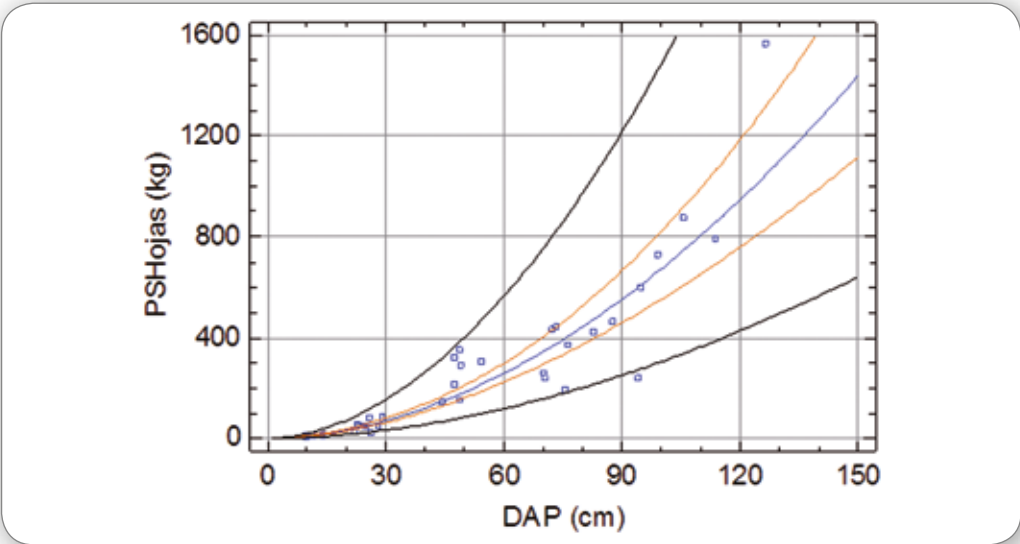


Figura 25.
Modelo 6, PSHojas = peso seco biomasa hojas (kg) en función del DAP (cm), Araucaria.

Cuadro 32. Coeficientes de regresión modelo no lineal HOJAS, dos variables (Modelo 7)					
Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm	
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Intervalo confianza a 95%		Estimaciones iniciales de los parámetros:
			Asintótico Inferior	Asintótico Superior	
d	-124,56000	89,4192	-306,9320	57,8120	d= 0,1
a	4,91625	0,5011	3,8943	5,9383	a = 0,1
b	0,02758	0,0035	0,0204	0,0347	b = 0,1
c	-0,04120	0,0108	-0,0633	-0,0191	c= 0,1
Modelo	HOJAS (kg) = -124,56+EXP(4,91625+0,0275833*DAP-0,0412022*HT)				
Estadígrafos	R-Cuadrada = 92,4048 porciento; Error estándar del estimador = 94,6021 Error medio absoluto = 60,0586; Estadístico Durbin-Watson = 2,02975				
Análisis de varianza					
Fuente	Suma de Cuadrados		Grados libertad		Cuadrado Medio
Modelo	6,09922E6		4		1,5248E6
Residuo	277436,		31		8949,56
Total	6,37665E6		35		
Total (Corregido)	3,65277E6		34		

Cuadro 33. Coeficientes de regresión modelo RAMA no lineal una variable independiente (Modelo 8)

Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm	
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Intervalo confianza a 95%		Estimaciones iniciales de los parámetros:
			Asintótico Inferior	Asintótico Superior	
c	-185,8660	122,7400	-435,5830	63,8509	c = 0,1
a	4,87535	0,4572	3,9452	5,8055	a = 0,1
b	0,0245	0,0034	0,0175	0,0315	b = 0,1
Modelo	RAMAS (kg) = -185,866+EXP(4,87535+0,0244892*DAP)				
Estadísticos	R-Cuadrada = 88,8396 por ciento; Error estándar del estimador = 227,667 Error medio absoluto (MAE) = 108,792; Estadístico Durbin-Watson = 1,67361				

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio
Modelo	2,189E7	3	7,29666E6
Residuo	1,71046E6	33	51832,2
Total	2,36005E7	36	
Total (Corregido)	1,53262E7	35	

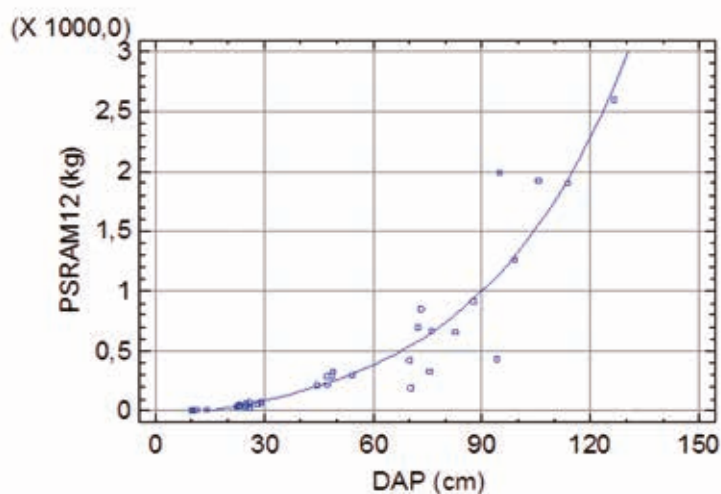


Figura 26.
Modelo 8, PSRAM12 = peso seco biomasa ramas (kg) en función del DAP (cm),
Araucaria.

4. Resultados

Cuadro 34. Coeficientes de regresión modelo multiplicativo RAMAS (Modelo 9)					
Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm	
Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico		
			T	Valor-P	
Intercepto	-3,4036	0,307996	-11,0508	0,0000	Intercepto = LN(a)
Pendiente	2,27441	0,0814395	27,9276	0,0000	
Modelo	RAMAS (kg) = EXP (-3,4036 + 2,27441*LN(DAP))				Y = a*X ^b
Estadígrafos	Coeficiente de Correlación = 0,978891; R-cuadrada = 95,8229 por ciento; Error estándar del estimador = 0,370898; Error absoluto medio = 0,272298; Estadístico Durbin-Watson = 1,45224 (P=0,0396)				
Análisis de varianza					
Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	107,294	1	107,294	779,95	0,0000
Residuo	4,67722	34	0,137565		
Total (Corregido)	111,972	35			

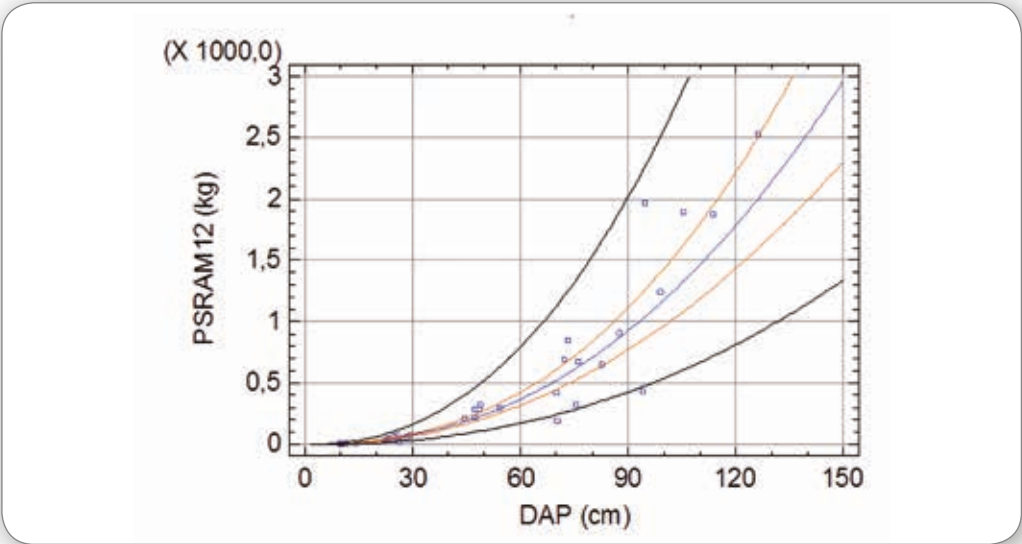


Figura 27.
Modelo 9, PSRAM12 = peso seco biomasa ramas (kg) en función del DAP (cm), Araucaria.

Cuadro 35. Coeficientes de regresión modelo no lineal RAMAS, dos variables (Modelo 10)

Especie	Araucaria	DAP mínimo = 10,0 cm		DAP máximo = 124,6 cm	
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Intervalo confianza a 95%		Estimaciones iniciales de los parámetros:
			Asintótico Inferior	Asintótico Superior	
d	-415,8100	239,5410	-904,3580	72,7392	d= 0,1
a	5,7760	0,5783	4,5966	6,9554	a = 0,1
b	0,0238	0,0038	0,0161	0,0316	b = 0,1
c	-0,02902	0,0114	-0,0523	-0,0057	c= 0,1
Modelo	RAMAS (kg) = -415,81+EXP(5,77599+0,0238435*DAP-0,029023*HT)				
Estadígrafos	R-Cuadrada = 90,169 porciento; Error estándar del estimador = 219,957 Error medio absoluto = 111,473; Estadístico Durbin-Watson = 1,97135				
Análisis de varianza					
Fuente	Suma de Cuadrados		Grados libertad		Cuadrado Medio
Modelo	2,20531E7		4		5,51328E6
Residuo	1,49981E6		31		48381,0
Total	2,35529E7		35		
Total (Corregido)	1,52559E7		34		

5 COMENTARIOS FINALES

Las funciones alométricas derivadas proveen una adecuada forma de estimación de la biomasa. El mejor modelo alcanza un error de 18,49% cuando se integran todos los componentes del árbol y se emplean como variables independientes el DAP y la altura total. Con estas funciones es posible además estimar la densidad de biomasa por hectárea al aplicarse sobre datos de inventarios convencionales. La conversión a carbono se obtiene de forma directa al aplicar el contenido de carbono medido.

No obstante la bondad de ajuste de los modelos, es necesario ser cuidadoso en su utilización hacia todo estado de árbol y localización, ya que las estimaciones se basan en árboles sanos o sin defectos aparentes para un sitio representativo de cordillera andina. Queda pendiente una verificación de su aplicación al sitio de cordillera de la costa.

La obtención de la densidad básica promedio para el árbol al igual que el factor de expansión de biomasa fustal a biomasa total son de gran utilidad para la estimación de biomasa a partir de funciones volumétricas.

Queda pendiente el estudio futuro de la biomasa radical para completar la información referida al carbono que acumula la especie.

6 REFERENCIAS

- Bianchi S, M Miyazawa, E de Oliveira, M Pavan 2008. Relationship between the Mass of Organic Matter and Carbon in Soil. Brazilian Archives of Biology and Technology V.51 (2):263-269.
- CAMPO DIGITAL 2012. Evaluación de biomasa para desarrollo de funciones alométricas en dos especies forestales nativas de Chile. Informe Técnico. Junio 2012.
- CONAF. 1999. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Proyecto CONAF-CONAMA-BIRF.
- Donoso, C. 2006. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: autoecología. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones, 2006. (Hualpén: Trama Impresores).
- Di Castri, E HAJEK 1976. Bioclimatología de Chile. Editorial Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 128 pp.
- Flora Chilena. 2013. Tipo Forestal Araucaria. Disponible en: http://www.florachilena.cl/Tipos_Forestales/Araucaria/Araucaria.htm Mayo, 2013.
- Gayoso J, J Guerra 2005 Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos de Chile. Bosque 26 (2):33-38
- Gayoso J, J Guerra, D Alarcón 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Documento N°1. Proyecto FONDEF Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile Instituto Forestal. 53 p. y 8 Anexos.
- Gayoso J, D Alarcón, G Trincado 2002. Elaboración indicador del Proceso de Montreal 5.a Biomasa total de los ecosistemas forestales y acumulación de carbono. Corporación Nacional Forestal y Universidad Austral de Chile. Valdivia, 37 p y anexos.
- Iglesias E, V Pérez 1992. Relationships between Organic Carbon and Total Organic matter in Municipal Solid Wastes and City Refuse Composts. Bioresource Technology 41 (1992): 265-272.
- Larney F, B Ellert, A Olson 2005. Carbon, ash and organic matter relationships for feedlot manures and composts. Can. J. Soil Sci. 85: 261-264.
- Navarro A, J Cegarra, A Roig, D García 1993. Relationships between organic matter and carbon contents of organic wastes. Bioresource Technology 44: 203-207.
- Périé C, R Ouimet 2008. Organic carbon, organic matter and bulk density relationships in boreal forest soils. Can. J. Soil Sci. 88: 315-325.

6. Referencias

- Pribyl D 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma* Vol. 156 (3-4): 75-83.
- UICN (Unión Mundial para la Naturaleza). 2001. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN Versión 3.1. Disponible en <http://www.florachilena.cl/conservacion/redlistcatspanish.pdf> Mayo, 2013.
- URIBE, J. *et al*, 2012. Atlas Bioclimático de Chile. 2012. Universidad de Chile, Santiago de Chile, 212p. Disponible en: <http://www.agrobiotec.uchile.cl/atlas/files/assets/downloads/publication.pdf> Junio 2012.

Funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono forestal para la especie
Araucaria araucana (Molina) K. Koch (ARAUCARIA)

