



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Funciones de volumen y ahusamiento para *Nothofagus dombeyi* (Coigüe común), y *Laureliopsis phillipiana* (Tepa), en el Valle Mirta, localidad de La Junta, XI región de Aysén.

Patrocinante: Sra. Alicia Ortega.

Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniero Forestal**.

KARINA VERÓNICA MARTIN ALVAR

VALDIVIA
2007

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sra. Alicia Ortega	-----
Informante 1:	Sr. Víctor Sandoval	-----
Informante 2:	Sr. Juan Carlos Cisternas	-----

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sra. Alicia Ortega

Agradecimientos

Antes de estructurar cualquier idea en torno a los que hicieron posible que este trabajo terminara, debo darle gracias a Dios ya que si él no existiera, probablemente yo nunca hubiese podido terminar este importante segmento de mi vida.

Tuti, gracias por darme los cimientos que permitieron construir a la profesional que soy ahora, gracias por inculcarme el valor de la educación y de lo que significa ser alguien en la vida. Te amo y sé que sin tu ayuda desde arriba, ésto no hubiese sido posible.

A ti mamá, gracias por sacrificarte, dejando atrás tu vida en Osorno por venir a acompañarme, a pesar de todo, sentirte cerca es un gran apoyo. A mis hermanas Paty y Pauli gracias por brindarme a esos dos solcitos, Javiera y Benja, que no sólo iluminaron mi vida, sino la de todas nosotras.

Pame, mi gran amiga, gracias por acompañarme durante toda esta etapa, en todos los momentos difíciles y también en los más alegres siempre estuviste ahí. Gracias por tus consejos, tal vez sin ellos yo no habría llegado hasta aquí.

A la Corporación Nacional Forestal (CONAF), área La Junta, Coyhaique, y especialmente a Juan Carlos Cisternas (J.C) por acogerme en la práctica profesional y entregarme todas las herramientas necesarias para desarrollarla, y por el apoyo que me diste económica y profesionalmente para formular el texto que ahora tienes en tus manos.

“Neshon”, cabe un agradecimiento especial para ti porque fuiste un apoyo fundamental en mi vida en La Junta, no sólo en los terrenos tomando datos, sino también en los consejos que me entregaste, entre mate y cigarros, siempre con la mejor disposición.

A mi profesora patrocinante, Alicia Ortega, gracias por valorar y apoyar la valentía de desarrollar un tema que no era mi especialidad. Gracias por los consejos, el tiempo y las correcciones que hicieron posible llegar hasta aquí.

Profesor Víctor Sandoval, gracias por las correcciones, los consejos y el tiempo dedicado.

A mi ex directora de Escuela, Angélica Aguilar, gracias por el apoyo brindado desde los inicios de esta etapa hasta hoy, en que finaliza. Gracias por la confianza que depositó en mí durante todo ese tiempo.

Gracias a mi secretaria de escuela, Ale, no sólo fuiste un pilar fundamental en mi paso por la Universidad, sino que eres imprescindible para toda la Escuela.

A la familia Mellado (los Pelaos) por darme la oportunidad de trabajar en una área diferente a la mía, lo que me permitió madurar y crecer como persona.

Gracias a todos los que no se mencionaron antes y que me ayudaron de una u otra forma a que esto fuera posible.

César, gracias por el apoyo que me has brindado en esta última etapa.

Karina Verónica Martin Alvar

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Volumen bruto	3
2.2 Volumen neto	3
2.3 Volumen total	3
2.4 Cubicación	3
2.5 Funciones de volumen	4
2.6 Funciones de ahusamiento	5
2.7 Proyecto de “Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo”	6
2.8 Tipo Forestal Siempreverde	7
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	8
3.1 Antecedentes generales del área	8
3.1.1 <i>Clima</i>	9
3.1.2 <i>Suelo</i>	9
3.1.3 <i>Accesibilidad</i>	9
3.1.4 <i>Vegetación</i>	9
3.2 Selección de la muestra	9
3.2.1 <i>Selección de los individuos de Coigüe</i>	10
3.2.2 <i>Selección de los individuos de Tepa</i>	10
3.2.3 <i>Selección de los árboles muestra</i>	10
3.2.4 <i>Medición de los árboles volteados</i>	11
3.3 Procesamiento de la información	12
3.3.1 <i>Validación y Depuración de la información</i>	12
3.3.2 <i>Cubicación</i>	12
3.3.3 <i>Descripción de la muestra</i>	12
3.3.4 <i>Correlación</i>	13
3.4 Modelos de volumen	15
3.5 Modelos de ahusamiento	16
3.7 Selección y evaluación de los modelos	17
3.7.1 <i>Modelos de volumen</i>	17
3.7.1.1 Preselección de los modelos	17
3.7.1.2 Evaluación y selección final de los modelos.	18
3.7.2 <i>Modelos de ahusamiento</i>	19
3.7.2.1 Preselección y evaluación de los modelos	19
3.7.2.2 Evaluación y selección final de los modelos.	19
3.7.3 <i>Aplicación de las funciones de volumen y ahusamiento.</i>	19
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	20
4.1 Descripción de los árboles muestra	20
4.2 Cubicación	20
4.3 Análisis de correlación	22
4.4 Modelos de volumen	25
4.4.1 <i>Preselección y evaluación de los modelos</i>	25
4.4.2 <i>Selección y evaluación final de los modelos</i>	28

4.4.3	<i>Aplicación de las funciones de volumen</i>	31
4.5	Modelos de ahusamiento	33
4.5.1	<i>Preselección y evaluación de los modelos</i>	33
4.5.2	<i>Selección y evaluación final de los modelos</i>	34
4.5.3	<i>Aplicación de las funciones de ahusamiento</i>	38
5.	CONCLUSIONES	40
6.	BIBLIOGRAFIA	41
	ANEXOS	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Estadísticos descriptivos para Coigüe.	13
2	Estadísticos descriptivos para Tapa.	13
3	Modelos de volumen ajustados.	15
4	Modelos de ahusamiento ajustados.	16
5	Matriz de correlación entre diferentes tipos de volumen y algunas variables predictoras para Coigüe.	22
6	Matriz de correlación entre diferentes tipos de volumen y algunas variables predictoras para Tapa.	22
7	Coefficientes de la regresión y el coeficiente de determinación para Coigüe y Tapa.	25
8	Estadísticos descriptivos para el volumen observado y los estimados para Coigüe.	26
9	Estadísticos descriptivos para el volumen observado y los estimados para Tapa.	27
10	Ranking de los modelos de volumen preseleccionados	28
11	Diferencia agregada (DIFA %) y Raíz del error medio cuadrático (REMC %) por grupo para Coigüe.	29
12	Diferencia agregada (DIFA %) y Raíz del error medio cuadrático (REMC %) por grupo para Tapa.	30
13	Funciones de volumen ajustadas para Coigüe y Tapa.	30
14	Tabla de rodal y existencia para Coigüe.	31
15	Tabla de rodal y existencia para Tapa.	31
16	Coefficientes de la regresión, el coeficiente de determinación y el error estándar de estimación para Coigüe y Tapa.	33
17	Calificación de los modelos preseleccionados para ambas especies.	34
18	Diferencia agregada (DIFA %) y Raíz del error medio cuadrático (REMC %) por grupo para Coigüe.	35
19	Diferencia agregada (DIFA %) y Raíz del error medio cuadrático (REMC %) por grupo para Tapa.	36
20	Funciones de ahusamiento ajustadas para Coigüe y Tapa	37
21	Tabla de ahusamiento para Coigüe	38
22	Tabla de ahusamiento para Tapa	38
23	Productos obtenidos de Coigüe.	39
24	Productos obtenidos de Tapa	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Plano de ubicación Cuenca del Río Mirta	8
2	Muestra gráfica de la altura comienzo de copa.	11
3	Distribución diamétrica de los individuos utilizados para el ajuste de las funciones	20
4	Comparación de la obtención de volumen bruto mediante las distintas fórmulas de cubicación para la especie Coigue.	21
5	Comparación de la obtención de volumen bruto mediante las distintas fórmulas de cubicación para la especie Tapa.	21
6	Relación entre el volumen con corteza (Vol sc m ³) y DAP (cm), HT (m), Hcc (m) y EC (cm) y las combinaciones DAP* HT y DAP*Hcc para Coigüe.	23
7	Relación entre el volumen con corteza (Vol sc m ³) y DAP (cm), HT (m), Hcc (m) y EC (cm) y las combinaciones DAP* HT y DAP*Hcc para Tapa	24
8	Diferencia agregada (DIFA %) y Raíz del error medio cuadrático (REMC %) por grupo para Coigüe.	35
9	Diferencia agregada (DIFA %) y Raíz del error medio cuadrático (REMC %) por grupo para Tapa.	36

RESUMEN EJECUTIVO

Se ajustaron modelos de volumen y ahusamiento para las principales especies nativas pertenecientes al tipo forestal Siempreverde, ubicado en el Valle Mirta, localidad de La Junta, XI región de Aysén. Las especies con las que se trabajó fueron *Nothofagus dombeyi* (Coigüe común), y *Laureliopsis phillipiana* (Tepa).

A partir de la selección de árboles muestra y la medición propiamente tal, se procedió al procesamiento de la información, el cual tuvo dentro de sus etapas la validación y depuración, además de la descripción de la muestra.

Los modelos de volumen y ahusamiento ajustados, pasaron por un proceso de preselección, el cual se basó en distintos criterios: el Coeficiente de determinación (R^2), Error estándar de estimación (EEE), análisis de residuales, y simpleza del modelo. Además, para los modelos de volumen, se calculó la desviación estándar de los residuales y se obtuvieron estadísticos descriptivos junto con la confección de gráficos de volumen observado versus volumen estimado.

A partir de un ranking de preselección, los modelos de volumen y ahusamiento con mejor puntaje pasaron a una etapa final de evaluación y selección final, para ello, la muestra se dividió en grupos (división que dependió del comportamiento de los residuales), con el objetivo de la obtención de la medida de exactitud como el Error medio cuadrático (REMC %) y para el caso del sesgo la Diferencia agregada (DIFA %).

Para ambas especies el modelo de volumen más eficiente resultó ser el modelo de Naslund, que utiliza como variables independientes el diámetro a la altura del pecho (DAP), y la altura del fuste utilizable, definida como la altura comienzo de copa (Hcc).

Para Coigüe este modelo presentó el segundo error de exactitud más bajo en los grupos y en lo que se refiere al sesgo este modelo presentó una variabilidad entre los grupos, la cual, no fue significativa, a comparación del resto de los modelos.

Para Tepa este modelo fue el más eficiente, presentó un comportamiento regular de los errores de exactitud entre los grupos y valores de sesgo bajos.

El modelo de ahusamiento que presentó menores errores de exactitud y un comportamiento parejo en cuanto al sesgo en Coigüe fue el modelo de Coffré, es por ello que se recomienda su uso en esta especie.

Para Tepa ninguno de los modelos de ahusamiento preseleccionados presentó un comportamiento parejo en cuanto al sesgo, es por ello, que se le dio mayor importancia al error de exactitud en la selección final, siendo el modelo de Bruce el más eficiente.

Palabras clave: *Nothofagus dombeyi*, *Laureliopsis phillipiana*, modelos de volumen, modelos de ahusamiento, errores de exactitud, sesgo.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la información proporcionada por el “Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile”, realizado por CONAF y CONAMA, concluido en 1997, la superficie nacional de bosques es de 15,6 millones de hectáreas, lo que representa el 20,7% de la superficie del territorio nacional. Los bosques nativos alcanzan a 13,4 millones de hectáreas, lo equivale al 85,9% del total; mientras que las plantaciones forestales abarcan 2,1 millones de hectáreas, es decir, el 13,5%. Las 87 mil hectáreas restantes (0,5%) corresponden a plantaciones mixtas (CONAF-CONAMA, 1997).

De la superficie total de bosque nativo existente en Chile, el 31% (4,13 millones de hectáreas) corresponden al tipo forestal Siempreverde, formado por muchas especies de latifoliadas y coníferas. Es el más abundante y se concentra mayoritariamente en la X y XI regiones (INFOR, 2005).

El Tipo Forestal Siempreverde de la XI Región, constituye el 17% de los bosques naturales de Chile (casi 2.3 millones de hectáreas) y el 47.4% de los bosques de la XI región (CONAF-CONAMA, 1997). Este tipo forestal, en la XI Región, presenta ciertos matices, ya señalados por Donoso *et al.*, (1993), que lo diferencian de los bosques siempreverdes más septentrionales, entre otras, la ausencia de subtipos como el Olivillo Costero, la presencia marginal del subtipo Ñadi o la ausencia de especies como Ulmo, Lingue y Laurel.

La necesidad de contar con herramientas biométricas eficaces y representativas, que orienten a una adecuada planificación silvícola y permitan así el aprovechamiento sostenido y sustentable de los recursos forestales, es un imperativo técnico, sobre todo si se incorporaron, sólo en la XI Región, 977 mil hectáreas a un sistema de manejo sustentable, a través del Proyecto ya finalizado de Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo, PCMSBN, (INFOR, 2003).

Las respuestas básicas que se deben entregar a los campesinos que están dispuestos a manejar en forma sustentable el Bosque Nativo, es la cantidad de madera que van a cosechar (volumen total), qué tipo de productos madereros van a obtener (madera debobinada, aserrada, leña) y en cuanto tiempo más podrán volver a intervenir sus bosques. Las funciones de volumen y de ahusamiento son algunas de estas herramientas que permiten responder estas interrogantes.

- ✓ Las funciones de volumen son ecuaciones matemáticas que siendo ajustadas a una muestra de la población de interés, pueden ser posteriormente utilizadas en la estimación de volúmenes comerciales del bosque en pie, en forma rápida, confiable y a un menor costo (Higuera, 1994).

- ✓ Las funciones de ahusamiento, al igual que las anteriores, son ecuaciones matemáticas que describen la forma del fuste, entregando los diámetros a distintas alturas en el árbol. Por lo tanto, su integral definida entrega el volumen entre dos alturas (Higuera, 1994), y por tanto permite discriminar entre tipo de productos madereros.

Con el objeto de seleccionar los métodos silviculturales más adecuados a la realidad de los Bosques Siempreverdes de la XI Región, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), el Servicio Alemán de Cooperación Social y Técnica (DED) y el Instituto Forestal (INFOR) unieron esfuerzos para levantar un ensayo que permita generar los conocimientos silviculturales necesarios para incentivar el manejo sustentable de los bosques y que además funcione como una unidad demostrativa de buenas prácticas silvícolas. Naturalmente la generación de funciones de volumen y ahusamiento confiables también es uno de los productos deseados de esta unidad.

En términos generales el objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio dendrométrico de las principales especies nativas pertenecientes al tipo forestal Siempreverde, ubicado en el Valle Mirta, localidad de La Junta, XI región de Aysén.

Los objetivos específicos contemplados en este trabajo son los siguientes:

- ✓ Ajustar y validar funciones de volumen y ahusamiento para *Nothofagus dombeyi* (Coigüe común), y *Laureliopsis phillyana* (Tepa), seleccionándose en cada caso los mejores modelos a utilizar mediante indicadores estadísticos que para ello existen.
- ✓ Evaluar diferentes expresiones de volumen con el objeto de obtener las que mejor interpretan las condiciones de desarrollo de las especies antes citadas, a efecto de recomendar su uso como una herramienta para la estimación de volumen.
- ✓ Evaluar diferentes modelos de ahusamiento, con el objetivo de conocer los productos posibles de obtener del manejo del bosque, dadas las especificaciones (diámetros y largos mínimos y máximos, posición en el árbol) para productos tales como trozos pulpables, aserrables, entre otros.

2. MARCO TEÓRICO

Existen ciertas características de las trozas o de los árboles que pueden ser evaluadas directamente con el empleo de instrumentos adecuados, como son el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT), altura comienzo de copa (HCC) y otras variables, que generalmente son de interés final por aportar información en la toma de decisiones (Prodan *et al.*, 1997).

Pero además existen otras variables que no se pueden medir directamente ya que no existe la tecnología o la técnica para hacerlo, o de existir, el costo involucrado en tal evaluación la hace poco práctica. En este caso se hace conveniente el contar con expresiones matemáticas que, basadas en una cantidad suficiente de información objetivamente seleccionada y cuidadosamente recopilada, permita estimar estas variables de los árboles, trozas o bosques a partir de mediciones simples, tanto en lo técnico como en lo económico (Drake, 2003).

2.1 Volumen bruto

Es el volumen de una parte específica de un árbol sin corteza y sin deducción por defectos; cuando se usa, el término debe calificarse por una palabra o declaración especificando la porción del árbol a la que se refiere. Por ejemplo, volumen bruto total del árbol (Prodan *et al.*, 1997).

2.2 Volumen neto

Es el volumen de una parte específica de un árbol sin corteza, hechas las deducciones por defecto o partes no útiles; este término también se calificará de acuerdo con la porción del árbol a la que se refiere (Prodan *et al.*, 1997).

2.3 Volumen total

Volumen correspondiente al fuste principal de un árbol; para los árboles de fuste delicuescente (latifoliadas), hasta el punto de inicio de la copa; para los árboles de fuste excurrente (coníferas) hasta la punta del árbol (Prodan *et al.*, 1997).

2.4 Cubicación

La medición de volumen de árboles volteados puede ser realizada asumiendo la similitud de cada una de las secciones del fuste como un determinado sólido de revolución, considerando la parte basal como un neiloide, la parte media como un cilindro o paraboloides y la parte superior como un cono.

Debido a la dificultad en la determinación de los puntos a lo largo del fuste de cada uno de los sólidos de revolución, son empleadas normalmente en la práctica forestal las siguientes fórmulas de aproximación del contenido volumétrico de cada sección:

$$\text{Huber (1928)} \quad V = g_m * L \quad (1)$$

$$\text{Smalian (1837)} \quad V = 1/2 (g_s + g_i) * L \quad (2)$$

$$\text{Newton: } V = 1/6 (g_s + 4g_m + g_i) * L \quad (3)$$

Donde:

V = volumen (m^3)

g_m = área basal (m^2) en el punto medio de la sección

g_s = área basal (m^2) en el punto superior de la sección

g_i = área basal (m^2) en el punto inferior de la sección

L = largo de la sección (m)

Todas las fórmulas de aproximación anteriores son válidas cuando la forma de la sección se asemeja a un cilindro o paraboloides. En caso de asemejarse la troza a un cono o neiloide la fórmula de Huber tiende a subestimar y la de Smalian a sobreestimar el contenido volumétrico (Prodan *et al.*, 1997).

2.5 Funciones de volumen

La expresión básica de cuantía de madera más empleada es el volumen, ya sea de árboles o productos forestales madereros. Las mediciones necesarias para cubicar un árbol y calcular su volumen son costosas y lentas, es mejor estimar el volumen indirectamente a través de variables fáciles de medir como el Diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total (HT) (García, 1995).

La estimación del volumen del árbol individual es un problema relevante en dendrometría e inventarios forestales. La dificultad en la determinación directa del volumen mediante la cubicación de secciones, hace conveniente contar con expresiones matemáticas que, basadas en una muestra objetivamente seleccionada y cuidadosamente medida, permitan estimar el volumen de los árboles sobre la base de mediciones simples (Prodan *et al.*, 1997). Las relaciones que permiten lograr esto son las funciones de volumen.

Las funciones de volumen han sido utilizadas por ser fáciles de ajustar y de utilizar, al entregar volúmenes en forma directa, sin necesidad de complejos cálculos matemáticos.

La mayoría de las funciones de volumen han sido ajustadas para especies de fustes excurrentes (coníferas), utilizando combinaciones de variables simples de medir, tales como el DAP, HT y en algunos casos un factor de forma. La forma ecuacional de estos modelos es en general del tipo:

$$v = f(D, HT, F) \quad (4)$$

Donde:

D = DAP (cm)

HT = Altura total del árbol (m)

F = Factor de forma

Para el caso de especies de fuste delicuescente (latifoliadas), como es el caso de Tapa y Coigüe, en las cuales dos árboles de igual DAP y altura total pueden tener distintas alturas comerciales, estas funciones pueden considerar la altura comercial o la altura comienzo de copa, como variable predictora (Higuera, 1994).

En la literatura se mencionan distintos tipos de funciones de volumen, pero las principales son:

a) Los modelos de volumen local o tarifas relacionan el volumen del árbol con sólo una variable dependiente, generalmente el diámetro normal o de referencia d o transformaciones y potencias de esta misma variable. El calificativo de local se debe a que son de aplicación limitada al área, para lo cual es aplicable la relación diámetro / altura implícita en el modelo de volumen; generalmente una cierta clase de edad y un mismo sitio (Prodan *et al.*, 1997).

b) Las funciones generales de volumen son modelos que estiman el volumen con dos o más dimensiones del árbol, por lo general el diámetro y la altura total o comercial h y en algunos casos una expresión de la forma. Son de aplicación más amplia que las locales, debido a que la relación diámetro-altura está explícita en el modelo, lo que facilita su uso para clases de edad y sitios diferentes (Prodan *et al.*, 1997).

c) Las funciones de volumen de razón, permiten estimar en forma consistente el volumen hasta cualquier diámetro límite de utilización por medio de dos ecuaciones a) una ecuación de volumen para predecir el volumen total del árbol; y b) una de transformación para estimar la proporción de volumen hasta un índice de utilización especificado. Son ecuaciones que permiten la predicción directa del volumen y son más simples de usar que los modelos de ahusamiento (Prodan *et al.*, 1997).

2.6 Funciones de ahusamiento

Los modelos fustales constituyen una importante herramienta estadística de uso corriente en la determinación de volúmenes de árboles y trozas; permiten al usuario estimar tres características básicas de los árboles: diámetro a cualquier altura del fuste, altura hasta cualquier diámetro predeterminado y volumen entre dos alturas (Prodan *et al.*, 1997).

La variable dependiente de una función de ahusamiento es el diámetro a una altura dada (D_m) y la variable independiente es la altura a la que se encuentra un cierto diámetro en el fuste (H_m) (Prodan *et al.*, 1997).

Los modelos fustales se utilizan cuando se tiene interés en conocer los productos posibles de obtener del manejo del bosque (Prodan *et al.*, 1997). Dadas las especificaciones (diámetros y largos mínimos y máximos, posición en el árbol) para productos tales como trozos pulpables, aserrables o chapas de varias calidades, utilizando las funciones de ahusamiento es posible simular el trozado del árbol, o determinar la mejor forma de hacerlo (García, 1995).

En la literatura se mencionan tres tipos de funciones de ahusamiento. Las más simples corresponden a:

a) Funciones polinómicas simples de diferentes grados, entre las cuales se hace diferencia entre las de árbol individual y las de muestra o árbol completo.

Las de árbol individual corresponden a funciones en las cuales primero se ajusta una función de ahusamiento para cada árbol en la muestra y luego los parámetros obtenidos son estimados de acuerdo a las variables del árbol (Coffré, 1983).

Las de árbol completo corresponden a funciones que son ajustadas a la muestra de árboles, obteniéndose solo una función general que describe la forma de todos los árboles (Higuera, 1994).

b) El segundo tipo de funciones corresponde a funciones segmentadas, es decir, se componen de dos o tres expresiones que se activan o desactivan de acuerdo a la altura en que se desea predecir el diámetro. La primera predice en la parte basal del fuste que se asemeja a un neiloide, la segunda predice para la parte media asemejándose a un paraboloide y la tercera predice en la zona cercana al ápice la cual se asemeja a un cono. Estas funciones están ligadas, en los puntos de inflexión o cambio de forma de la curva que describe el árbol (Higuera, 1994).

c) El tercer tipo de funciones son las de Exponente Variable, que son ecuaciones en las que se asume que la forma varía constantemente dentro del fuste y representan esta variación a través de una función exponencial en la cual el exponente cambia con la altura del fuste. (Higuera 1994).

2.7 Proyecto de “Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo”.

Los pequeños y medianos propietarios dueños de bosques nativos de la XI Región, al igual que el resto de las regiones se encontraban en una situación de falta de información económica y tecnológica frente al manejo sustentable del recurso y con problemas de accesibilidad, transporte y comercialización de los productos que obtienen de estos bosques.

El proyecto de Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo tuvo por objetivo enseñar a conservar el bosque y contribuir a un desarrollo sustentable del país. Con la puesta en marcha de éste, la estrategia de desarrollo e implementación puso a disposición de pequeños y medianos productores la mejor tecnología para el manejo sustentable del bosque nativo, información comercial y planes de negocios, a través de cuatro líneas de trabajo: (1) Asesoría técnica, (2) Incentivo al manejo, (3) Apoyo en la comercialización y (4) Formación de equipos de extensionistas que fueron el nexo entre los campesinos y las instituciones que participan de este proyecto.

2.8 Tipo Forestal Siempreverde.

Se extiende desde los 40°30' hasta los 47° sur, y por debajo de los 1.000 m s.n.m. en la Cordillera de Los Andes, desde los 38°30' hasta los 47° sur, aproximadamente en la Cordillera de La Costa, particularmente en sus laderas occidentales y en áreas planas y de mal drenaje de la Depresión Intermedia hacia el sur, desde los 40° latitud sur (Donoso 1993).

De acuerdo a la información proporcionada por el "Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile", realizado por CONAF y CONAMA, concluido en 1997, la superficie de este tipo forestal es de 4,13 millones de hectáreas, lo que representa el 31% de la superficie total de Bosques Nativos existentes en Chile (CONAF-CONAMA, 1997).

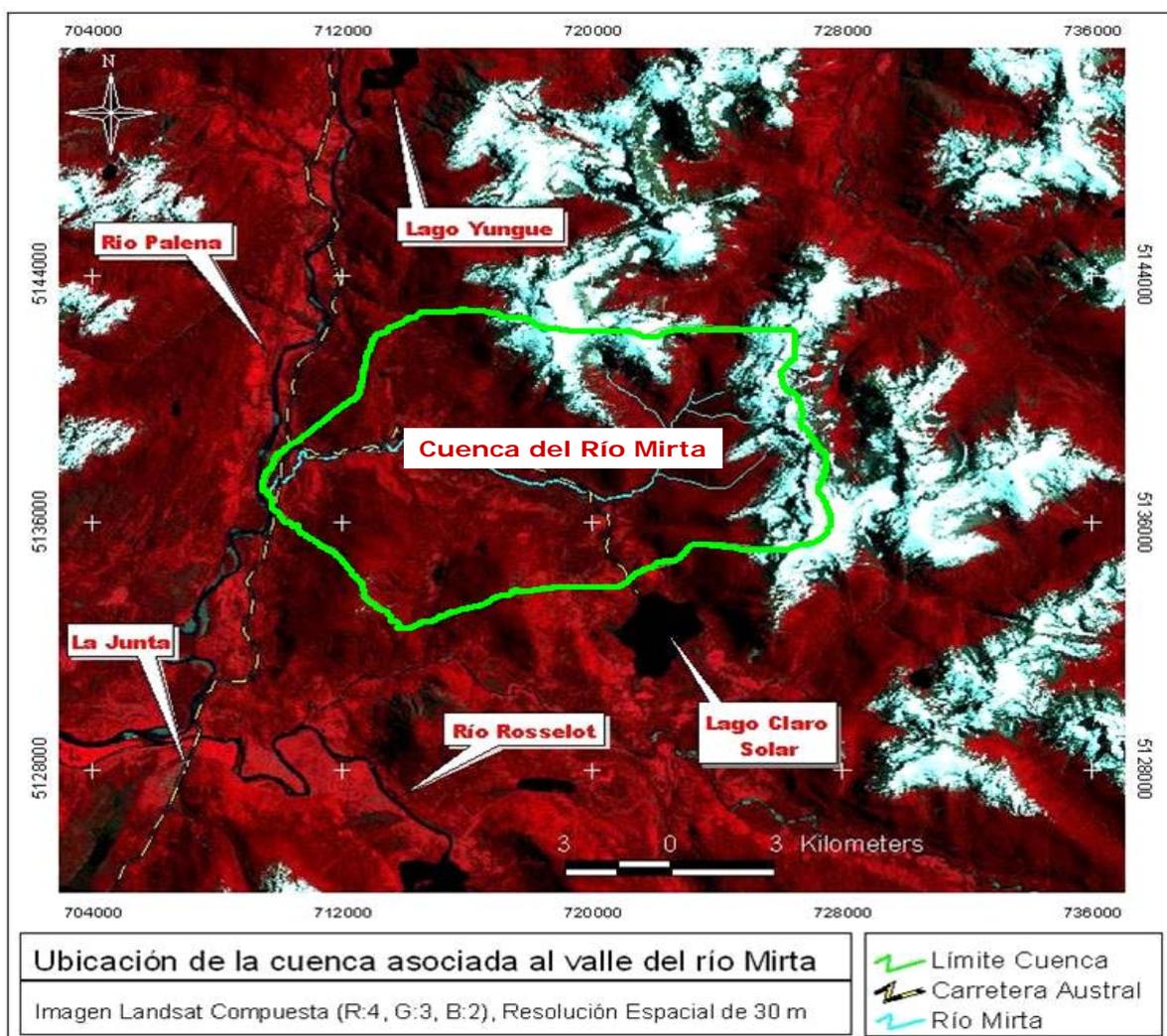
Este tipo esta constituido por una gran variedad de comunidades que tienen características comunes como, la dominancia por un número variable de especies siempreverdes, entre las cuales también se encuentran coníferas podocarpáceas; y la ocurrencia bajo un clima de altas precipitaciones pluviales y gran humedad durante todo el año.

En la XI Región, es un tipo que se caracteriza por una riqueza florística inferior a sus símiles de la X Región. Aun así tiene una composición multiespecífica, cuya estructura vertical puede estar formada hasta por cuatro estratos (multiestratificado), con diferentes cohortes o clases de edad (multietáneo). En función a su variabilidad, complejidad, estructura y composición, se reconocen tres subtipos: Renovales de Canelo, Siempreverde con Intolerantes Emergentes y Siempreverde de Tolerantes (Donoso, 1981).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Antecedentes generales del área

El área seleccionada es la cuenca del Valle Mirta, ubicada dentro de la comuna de Cisnes, provincia de Aysén. Esta cuenca está a 16 kilómetros al noreste de La Junta y a 290 kilómetros al norte de la ciudad de Coyhaique (Anexo 2). Posee una superficie de 9.521,7 hectáreas, (delimitada por la divisoria de aguas), tributa sus afluentes a la cuenca del Río Palena que corresponde al cuerpo de agua más importante de la zona norte de la XI Región. De la superficie total antes mencionada, 4.865,6 hectáreas son de propiedad del Estado y son administradas a través del Ministerio de Bienes Nacionales; 4.604,6 hectáreas son de propiedad privada en manos de 17 propietarios; y 51,5 hectáreas que aparecen sin información (Cisternas, 2006) (Figura 1).



Fuente: Peña y Moraga, 2006.

Figura 1. Plano de Ubicación Cuenca del Río Mirta.

3.1.1 Clima

El clima se caracteriza por ser de tipo frío oceánico, de bajas temperaturas, con abundantes precipitaciones, fuertes vientos y mucha humedad. La precipitación promedio anual fluctúa entre los 3.000 y 4.000 mm. Las temperaturas son muy bajas obteniéndose una media anual de 8 a 9 °C, siendo el mes de Enero el que presenta las temperaturas más altas y Julio las más bajas, (Cruces *et al.*, 1999).

3.1.2 Suelo

Son suelos jóvenes, fuertemente modificados por la última glaciación, presentan una gradación de oriente a poniente estrechamente ligada a los fenómenos naturales que han contribuido a su génesis. Dentro de su proceso de evolución, frecuente han sido los aportes de material volcánico y aportes de sedimentos fluviales, fluvio-glaciales y coluviales (Cruces *et al.*, 1999).

3.1.3 Accesibilidad

El área de estudio con un acceso vial permanente, relativamente nuevo, por lo tanto no tiene problemas de accesibilidad, además la cercanía al pueblo de La Junta permite llevar un monitoreo permanente sin grandes costos de traslado, gracias a la colaboración de CONAF¹.

3.1.4 Vegetación

La condición actual del tipo forestal Siempreverde en el Valle Mirta es representativa de los bosques Siempreverdes de la región pero más simple, ya que esta dominado principalmente por *Nothofagus dombeyi* (Coigüe común), *Saxegothea conspicua* (Mañío hembra) y *Laureliopsis philliappiana* (Tepa).

La estructura vertical puede estar formada hasta por cinco estratos (multiestratificado) y con diferentes cohortes o clases de edad (multietáneo) (Donoso, 1981).

¹ Eladio Pinto, Jefe de Área La Junta, CONAF. Comunicación personal

3.2 Selección de la muestra

3.2.1 Selección de los individuos de Coigüe

La selección de estos individuos se realizó en un roval adulto denso de Coigüe, en donde se establecieron previamente 3 parcelas de 1.000 m² cada una. Los parámetros dasométricos descriptores del bosque se indican en el Anexo 3.

La ubicación de este rodal se encuentra en el predio La Paloma, propiedad de Don Rodrigo Santibáñez Schilling, el cual se ubica desde La Junta al norte, unos 13,5 kilómetros, desde aquí al oeste por camino al Valle Mirta 8,8 kilómetros para empalmar al río Mirta y cruzar llegando al predio.

3.2.2 Selección de los individuos de Tepa.

Se contó con una base de información dasométrica (Anexo 3), constituida por 7 parcelas permanentes de 5.000 m² cada una, establecidas en un rodal adulto del tipo forestal Siempreverde, de un inventario realizado previamente por el "Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo en los meses de Enero y Febrero del 2006.

La ubicación de estas parcelas se encuentra en el predio El Cañal, propiedad de Don José Aillapan Rauque, el cual se ubica a 17 kilómetros al noreste de La Junta. Desde la Carretera Austral se toma nuevo camino por 10 kilómetros que se interna, hacia el Valle Mirta.

3.2.3 Selección de los árboles muestra.

Para ambos casos se seleccionaron los árboles muestra, los que fueron utilizados para la obtención del volumen y en la construcción de las funciones de volumen y ahusamiento, basándose en los siguientes criterios:

- Árboles de calidad 1, (Calidad según Carrasco 1986, Anexo 3) es decir, que no presenten bifurcaciones ni otro tipo de daño.
- Con el objetivo de obtener funciones de volumen que sean reales, también se seleccionaran individuos de calidad 2-3, es decir, que presenten bifurcaciones u otro tipo de daño.
- El rango diamétrico utilizado para Coigüe y Tepa fue de 20 - 50 cm y 20 - 80 cm respectivamente.
- El tamaño muestral original fue de 33 árboles de Coigüe y 42 árboles de Tepa.

3.2.4 Medición de árboles volteados.

Una vez seleccionados y volteados los árboles, se registraron en un formulario (Anexo 4) las siguientes mediciones:

- Especie
- Diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm)
- Altura total (HT) (m)
- Altura comienzo de copa (Hcc) (m), la cual se definió como la altura en donde aparece la primera rama verde, igual o mayor a 1/3 del diámetro del fuste a esa altura (Figura 2).

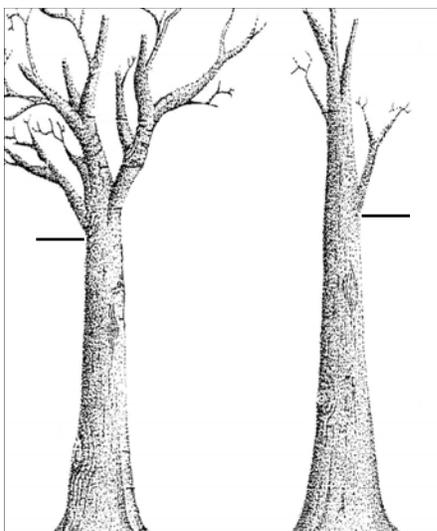


Figura 2. Muestra gráfica de la altura comienzo de copa.

- Altura de tocón (Htc) (m)
- Altura de medición (Hm) (m): Altura en el fuste cada un metro a partir de la altura del DAP y hasta el comienzo de la copa. En el caso cuando la altura de medición en el fuste presentaba anomalías, la medición se desplazó hasta el punto anterior de medición
- Diámetro de tocón (Dtc) (cm)
- Diámetro de medición (Dm) (cm): Es el diámetro a la altura de medición en el fuste.
- Diámetro al comienzo de la copa (Dcc) (cm)
- Espesor de la corteza (Ecc) (cm)

3.3 Procesamiento de la información

3.3.1 Validación y Depuración de la información

El conjunto de datos compuesto por las dos especies fue sometido a un proceso de revisión, validación y depuración, lo cual se realizó de la siguiente manera:

- Se validaron los datos digitados (base de datos) con los formularios de terreno.
- La secuencia de ahusamiento se validó analizando la tendencia de los datos, la cual debía ser decreciente o mantener el diámetro a medida que crece la altura de medición en el fuste.
- A partir de la identificación de valores anómalos (Volumen, DAP, HT, Hcc y Ecc dentro de rangos no lógicos) se procedió a la depuración de éstos, mediante la utilización de gráficos de dispersión, con el fin de eliminarlos de la base de datos original.

3.3.2 Cubicación

Debido a que no existen tablas de volumen para las especies en estudio, posterior a las mediciones realizadas al árbol volteado, se procedió a su cubicación, para lo cual se utilizó la fórmula de Newton.

$$V = 1/6 (g_s + 4g_m + g_i) * L \quad (5)$$

Donde:

V = volumen (m³)

g_m = área basal (m²) en el punto medio de la sección

g_s = área basal (m²) en el punto superior de la sección

g_i = área basal (m²) en el punto inferior de la sección

L = largo de la sección comercial (m).

Debido al hecho de que las especies utilizadas en este estudio son de fuste delicuescente, el volumen total corresponderá al volumen hasta la altura de la última medición, es decir, el largo de la sección será hasta la altura comienzo de copa (Hcc), el cual marcará el final del fuste utilizable.

3.3.3 Descripción de la muestra

A partir de la toma de datos en terreno y a su posterior validación y depuración se procedió al cálculo de los estadísticos descriptivos (N, Mínimo, Máximo, Media y Desviación estándar) de las variables de interés como DAP, HT, Hcc y Volumen total (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos para Coigüe.

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv.Est.
DAPcc (cm)	26	21.500	52.000	37.096	8.577
Ecc (cm)	26	0.400	2.200	1.046	0.583
DAPsc (cm)	26	20.700	50.200	36.050	8.206
HT (m)	26	14.100	29.800	24.462	3.675
Hcc (m)	26	6.600	19.800	12.450	3.103
VOLcc (m ³)	26	0.205	1.890	1.150	0.473
VOLsc(m ³)	26	0.188	1.738	1.097	0.445

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para Tapa.

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv.Est.
DAPcc (cm)	39	22.000	78.500	45.795	14.819
Ecc (cm)	39	0.800	3.000	1.728	0.422
DAPsc (cm)	39	21.000	77.500	44.067	14.611
HT (m)	39	16.000	31.000	25.054	3.754
Hcc (m)	39	2.800	20.700	11.579	5.165
VOLcc(m ³)	39	0.161	3.828	1.527	0.899
VOLss(m ³)	39	0.144	3.569	1.410	0.844

Donde:

VARIABLES DE INTERÉS:

- DAPcc = Diámetro a la altura del pecho con corteza (cm)
- Ecc = Espesor de corteza (cm)
- DAPsc = Diámetro a la altura del pecho sin corteza (cm)
- HT = Altura total del árbol (m)
- Hcc = Altura de comienzo de la copa (m)
- VTcc = Volumen total con corteza (m³)
- VTsc = Volumen total sin corteza (m³)

De una muestra de 26 árboles para Coigüe y 39 para Tapa, la media en volumen bruto aprovechable, es decir, calculado hasta la altura comienzo de copa fue de 1.150 m³ y 1.522 m³ respectivamente; siendo para Coigüe la altura comienzo de copa media de 12.5 m y para Tapa de 11.5m. La media en altura total para Coigüe fue de 24.6 m y para Tapa de 25.1m.

3.3.4 Correlación

El análisis de correlación, estudia el comportamiento recíproco de dos variables. El objetivo de éste es, conocer si al variar los valores de x en un determinado sentido en las unidades de observación, el valor de y aumenta, disminuye o se mantiene igual en esas unidades (Taucher, 1997).

Para ello se estudió el comportamiento entre el volumen y distintas variables, como DAP, HT, Hcc, Ec, y combinaciones de DAP*HT y DAP*Hcc, a través del cálculo del coeficiente de correlación:

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (6)$$

Además se representó la relación existente entre ambas variables, mediante la confección de gráficos de correlación para ver el comportamiento de éstas.

El gráfico de puntos nos revela correlación cuando los puntos se disponen en una nube elíptica y oblicua con respecto a los ejes. La correlación puede ser positiva o negativa. Es positiva cuando a valores bajos de x corresponden valores bajos de y , y a valores altos de x corresponden valores altos de y . Es negativa si al aumentar los valores de x los valores de y disminuyen. La ausencia de correlación se manifiesta en el gráfico por una disposición circular, horizontal o vertical de los puntos. (Taucher, 1997).

3.4 Modelos de volumen

Los modelos originales para coníferas consideran la altura total del árbol como predictor del volumen, en este caso, como son especies latifoliadas, se considerará la altura comienzo de copa (Hcc) como la variable predictora del volumen.

Se evaluarán las siguientes funciones de volumen de carácter general, tanto lineales como logarítmicas:

Cuadro 3. Modelos de volumen ajustados.

Autor	Modelo
(1) Factor de forma constante (Spurr, 1952)	$v = b_1 DAP^2 H$
(2) Variables combinadas (Spurr, 1952)	$v = b_0 + b_1 DAP^2 H$
(3) Australiano (Stoate)	$v = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 D^2 H + b_3 H$
(4) Naslund	$v = b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 D H^2 + b_4 H^2$
(5) Schumacher – Hall.	$\ln (v) = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln H$
(6) Logaritmo de variables combinadas, (Spurr, 1952)	$\ln (v) = b_0 + b_1 \ln DAP^2 H$
(7) Korsun	$\ln (v) = b_0 + b_1 \ln (DAP + 1) + b_2 \ln H$
(8) Forest Reserch Institute, Baden – Wuttemberg.	$\ln (v) = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 (\ln DAP)^2 + b_3 \ln H + b_4 (\ln H)^2$

Fuente: Loetsch et.al. 1973.

Donde:

DAP = Diámetro a la altura del pecho con corteza (cm)

H = Hcc, altura comienzo de copa (m)

b_0, b_n = coeficientes de la regresión

3.5 Modelos de ahusamiento

La gran mayoría de estos modelos están propuestos para coníferas es por ello que se hicieron algunas transformaciones en las variables por tratarse de especies de fuste delicuescente, como:

- La altura superior o altura total, en este caso fue la altura utilizable del fuste denominado comienzo de copa (Hcc).
- Se midió el diámetro a la altura comienzo de copa.

Se evaluaron los siguientes modelos de ahusamiento:

Cuadro 4. Modelos de ahusamiento ajustados.

Autor	Modelo
(1) Coffré, 1981	$Y = b_1 X + b_2 X^2 + b_3 X^3$
(2) Kozak, 1969	$Y^2 = b_1 (X - 1) + b_2 (X^2 - 1)$
(3) Real y Moore (1987)	$Y^2 = b_1 (X^3 - X^2) + b_2 (X^8 - X^2) + b_3 (X^{40} - X^2)$
(4) Bruce et al (1968)	$Y^2 = b_1 X^{1.5} + b_2 A_1 + b_3 A_2 + b_4 A_3 + b_5 A_4 + b_6 A_5$

Fuente: Higuera, 1994.

Donde:

$$Y = \text{Disc} / \text{Dapsc}$$

Disc = Diámetro sin corteza a la altura H_j en el fuste (cm.)

Dapsc = Dap sin corteza (cm.)

$$X = (Hcc - H_j) / (Hcc - 1.3)$$

Hcc = altura del fuste utilizable o comienzo de copa (Hcc)

H_j = altura de medición en el fuste.

b_1 b_n = coeficientes de la regresión

$$A_1 = (X^{1.5} - X^3) \text{Dap}$$

$$A_2 = (X^{1.5} - X^3) \text{Hcc}$$

$$A_3 = (X^{1.5} - X^{32}) \text{Dap} * \text{Hcc}$$

$$A_4 = (X^{1.5} - X^{32}) \text{Hcc}^{0.5}$$

$$A_5 = (X^{1.5} - X^{40}) \text{Hcc}^2$$

3.6 Selección y evaluación de los modelos

3.6.1 Modelos de volumen

3.6.1.1 Preselección de los modelos

Los modelos de volumen lineales fueron preseleccionados de acuerdo a un sistema que consideró cinco criterios como:

- a) El Coeficiente de determinación o Correlación cuadrada (R^2), el cual indica el porcentaje en que el modelo explica al error total (Taucher, 1997).

Se calculó para todos los modelos el R^2 absoluto, a través, de la siguiente manera:

$$R^2 = \frac{\sum C \text{ Reg}}{\sum C \text{ Tot}} * 100 \quad (7)$$

Donde:

$\sum C \text{ Reg}$ = Sumatoria de los cuadrados de la regresión

$\sum C \text{ Tot}$ = Sumatoria de los cuadrados del total, es decir, la sumatoria de los cuadrados de la regresión + la sumatoria de los cuadrados de los residuales.

- b) Análisis de residuales², el cual permitió observar:

- Normalidad en los errores
- Valores anormales en la distribución de los errores
- Si los residuales tienen varianza constante
- Independencia de los residuales

- c) El cálculo de la desviación estándar de los residuales, la cual permitió medir la dispersión de los valores respecto al valor promedio.

- d) Obtención de estadísticos descriptivos como: media, desviación estándar y coeficiente de variación, además de la confección de gráficos de volumen observado versus volumen estimado (para todos los modelos), agregándole una línea de tendencia y el R^2 .

- e) Simpleza del modelo.

² Un residual es la diferencia entre el valor observado y el valor estimado por la ecuación de la regresión.

Posterior a la evaluación de estos cinco criterios, se procedió a la confección de un ranking para la preselección de los cinco mejores modelos, (5, corresponden al 60% del total de los modelos aproximadamente, metodología propuesta por Higuera 1994). Se ponderaron los criterios, para lo cual el puntaje máximo utilizado fue de 7 puntos, siendo el mínimo de 0 puntos.

3.6.1.2 Evaluación y selección final de los modelos.

Una vez preseleccionados los modelos de volumen, y posterior al análisis de los residuales la muestra se dividió en grupos, con el objetivo de la obtención de la medida de exactitud como el Error medio cuadrático (REMC absoluto y porcentual) y para el caso del sesgo la Diferencia agregada (DIFA absoluta y porcentual).

Para lo cual se calcularon, se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{REMC (\%)} = \frac{\sqrt{\sum (O - E)^2}}{n} \cdot \frac{100}{x} \quad (8)$$

$$\text{DIFA (\%)} = \frac{\sum (O - E)}{n} \cdot \frac{100}{x} \quad (9)$$

Donde:

O - E = residual (diferencia entre el valor observado y el estimado)

n = tamaño de la muestra.

x = media de la muestra.

3.6.2 Modelos de Ahusamiento

3.6.2.1 Preselección y evaluación de los modelos

Los cuatro modelos de ahusamiento fueron preseleccionados de acuerdo a un sistema que consideró criterios como:

- a) Coeficiente de determinación o Correlación cuadrada (R^2), calculado como se expresa en el punto 3.7.1.1.
- b) Error estándar de estimación, obtenido a partir del ajuste de los modelos.
- c) Análisis de residuales obtenidos a partir del ajuste de los modelos.
- d) Simpleza del modelo.

Posterior a la evaluación de estos criterios, se procedió a la confección de un ranking para la preselección de los modelos, para lo cual el puntaje máximo utilizado fue de 3 puntos, siendo el mínimo de 0 puntos.

3.6.2.2 Evaluación y selección final de los modelos.

Una vez preseleccionados los modelos de ahusamiento, y posterior al análisis de los residuales la muestra se dividió en grupos, con el objetivo de la obtención de la medida de exactitud como el Error medio cuadrático (REMC absoluto y porcentual) y para el caso del sesgo la Diferencia agregada (DIFA absoluta y porcentual). Los cuales, se calcularon como se expuso en el punto 3.7.1.2 para la evaluación y selección final de los modelos de volumen.

3.6.3 Aplicación de las funciones de volumen y ahusamiento.

Para la aplicación de las funciones finales ajustadas para Coigüe y Tepa, se utilizó una base de datos externa a la original, proveniente de parcelas de inventario realizadas en el marco de los planes de ordenamiento del PCMSBN, en la cuenca del Río Mirta, sector La Junta, XI Región (Cisternas 2007). Estas correspondieron a 49 unidades circulares de 1.000 m² cada una, establecidas en bosques adultos y en renovales de las especies de interés.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Descripción de los árboles muestra.

Del conjunto de datos original compuesto de 33 árboles de Coigüe y 42 de Tapa, a partir del análisis, validación y depuración de los datos, la muestra se redujo a un total de 26 y 39 árboles respectivamente. Las causas de la eliminación de éstos, fueron la identificación de datos anómalos, es decir, volumen, DAP, altura total, altura comienzo de copa y espesor de corteza dentro de rangos no lógicos; además de no seguir la tendencia de ahusamiento decreciente.

En la siguiente figura se presenta el rango diamétrico abarcado por ambas especies.

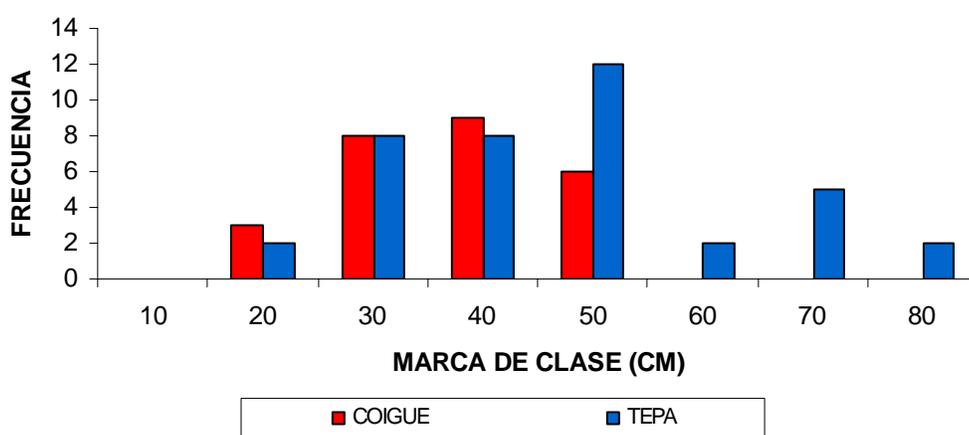


Figura 3. Distribución diamétrica de los individuos utilizados para el ajuste de las funciones.

La distribución diamétrica utilizada para Coigüe y Tapa fue de 20-50 y 20-80 cm respectivamente. En el caso de Coigüe la muestra se redujo a la clase de 60 cm, debido a la mala calidad de los individuos (principalmente sanidad) y a la ocupación de éstos dentro del dosel, los cuales al ser volteados hubieran causado daño a otras especies de valor para el propietario, como *Saxegothaea conspicua* (Mañío hembra) y *Podocarpus nubigena* (Mañío de hojas punzantes).

4.2 Cubicación

Para la obtención del volumen bruto total, correspondiente al fuste principal del árbol que en estos casos por tratarse de especies de fuste delicuescente (latifoliadas), hasta el punto de inicio de la copa; y además sin deducción por defectos, se utilizó la fórmula de Newton y para efectos de comparación se trabajó con las fórmulas de Huber y Smalian (Figura 4 y 5).

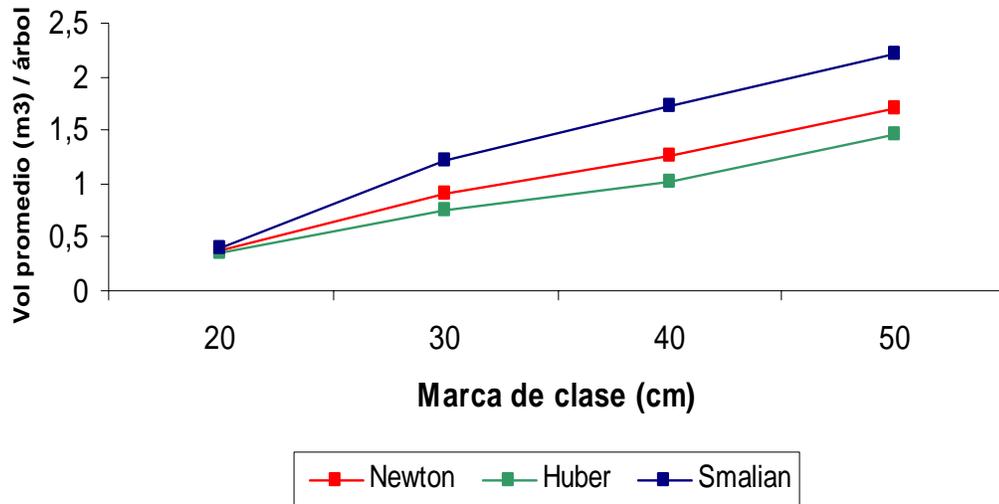


Figura 4. Comparación de la obtención de volumen bruto hasta el comienzo de copa, mediante las distintas fórmulas de cubicación para la especie Coigüe.

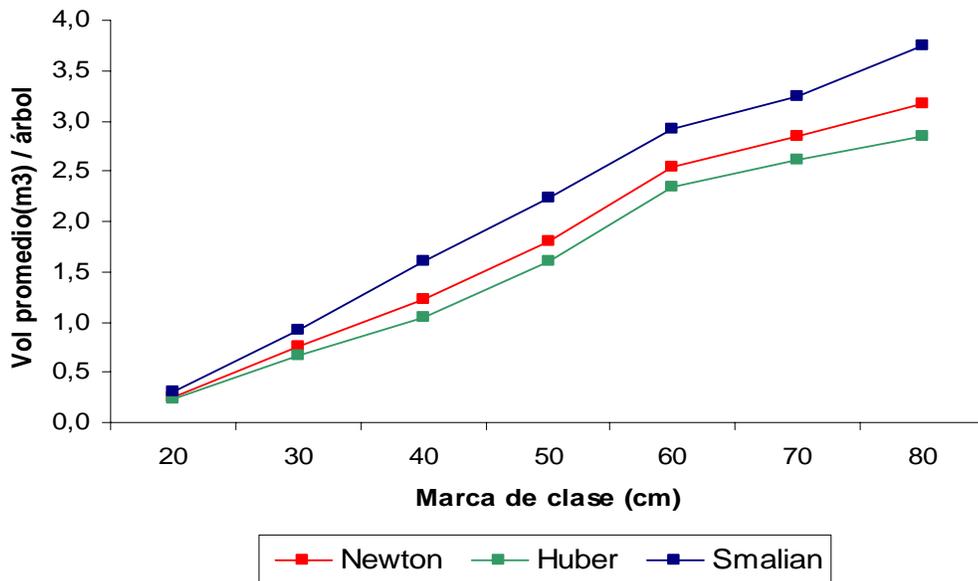


Figura 5. Comparación de la obtención de volumen bruto hasta el comienzo de copa, mediante las distintas fórmulas de cubicación para la especie Tapa.

Como se observa en las Figuras 4 y 5, todas las fórmulas de cubicación, son válidas cuando la forma de la sección se asemeja a un cilindro o paraboloides; y se corrobora que la fórmula de Huber tiende a subestimar y la de Smalian a sobreestimar el contenido volumétrico para ambas especies (Prodan *et al.*, 1997).

4.3 Análisis de correlación

En los cuadros 5 y 6 se presentan matrices de correlación entre el volumen y distintas variables como, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT), altura comienzo de copa (Hcc), espesor de corteza (EC) y algunas combinaciones como DAP* HT y DAP * Hcc para ambas especies.

Cuadro 5. Matriz de Correlación entre diferentes tipos de Volumen y algunas variable predictoras para Coigüe.

Variables	DAP cc (cm)	HT (m)	Hcc (m)	EC (cm)	DAP cc (cm)* HT (m)	DAP cc (cm)* Hcc (m)
Vol cc (m ³)	0.884	0.795	0.269	0.553	0.927	0.798
Vol sc (m ³)	0.872	0.800	0.295	0.508	0.917	0.809

Cuadro 6. Matriz de Correlación entre diferentes tipos de Volumen y algunas variable predictoras para Tepa.

Variables	DAP cc (cm)	HT (m)	Hcc (m)	EC (cm)	DAP cc (cm)* HT (m)	DAP cc (cm)* Hcc (m)
Vol cc (m ³)	0.734	0.394	0.296	0.327	0.789	0.821
Vol sc (m ³)	0.747	0.396	0.276	0.321	0.800	0.808

Se observa que la correlaciones más altas en Coigüe se dan entre el volumen y la combinación del DAP*HT, y el DAP, seguido por el volumen y DAP*Hcc y HT, siendo el espesor de corteza y la altura comienzo de copa las menos significativas.

En cambio para Tepa las correlaciones más altas se dieron entre el volumen y las combinaciones de DAP*Hcc y DAP*HT, seguido por el volumen y el DAP, siendo la altura total, el espesor de corteza y la altura comienzo de copa las menos significativas.

La manera más sencilla de presentar y analizar la relación entre dos variables es el grafico de correlación. Para ello en las figuras 6 y 7, se presentan en forma gráfica las relaciones anteriormente presentadas en los cuadros 5 y 6.

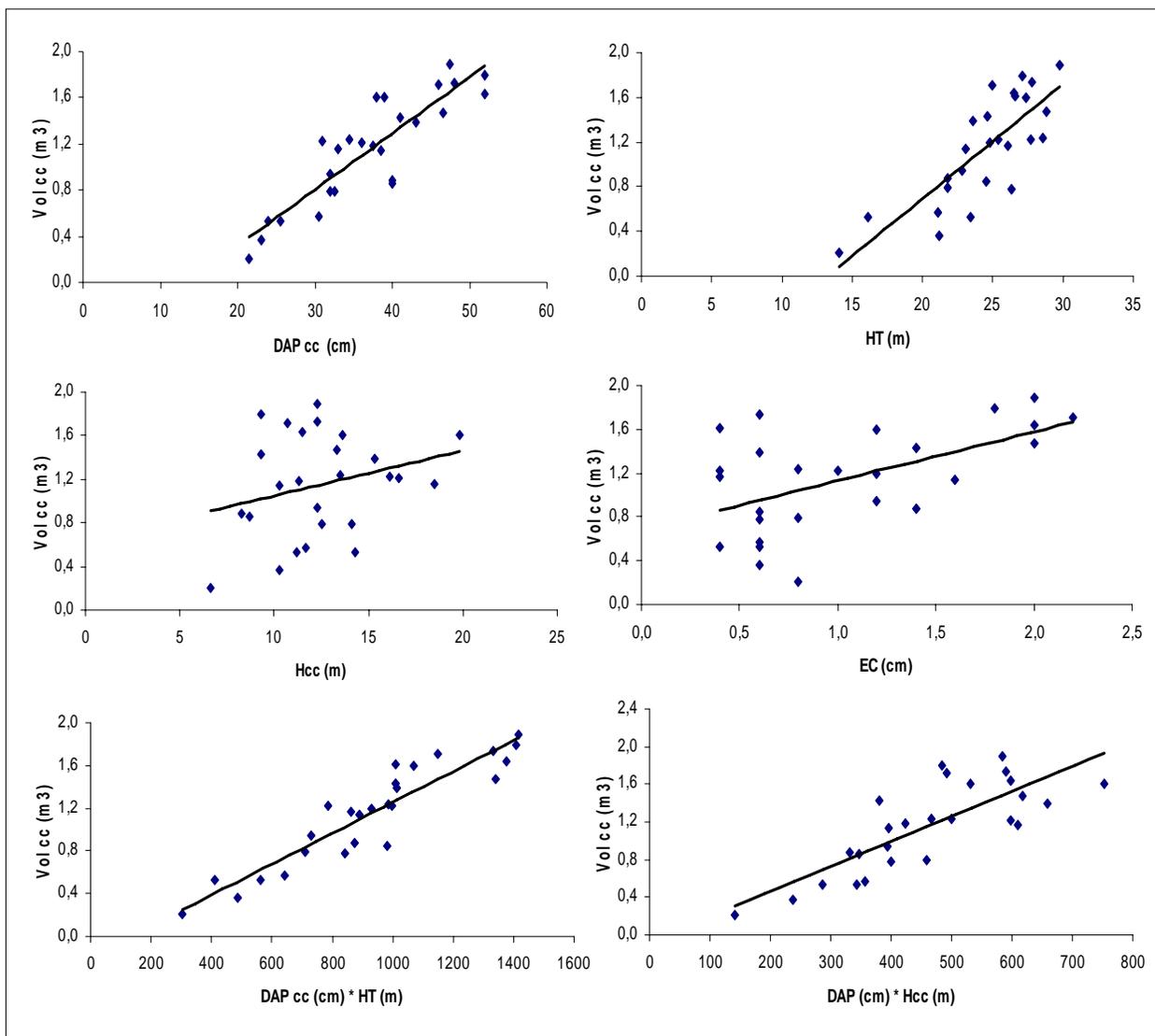


Figura 6. Relación entre el volumen con corteza y el DAP, HT, Hcc, EC y las combinaciones de DAP*HT y DAP*Hcc para Coigüe.

En la figura 6, se observan correlaciones positivas, entre el volumen y la combinación del DAP*HT (0.927), y el DAP (0.884), seguido por el volumen y DAP*Hcc (0.798) y HT (0.795), lo que se representa por la menor dispersión de los puntos alrededor de la línea de tendencia; así como, la ausencia de correlación entre el volumen y el espesor de corteza (0.553) y la altura comienzo de copa (0.269), lo que se corrobora por la dispersión de los puntos en forma circular y tendiendo a horizontal respectivamente.

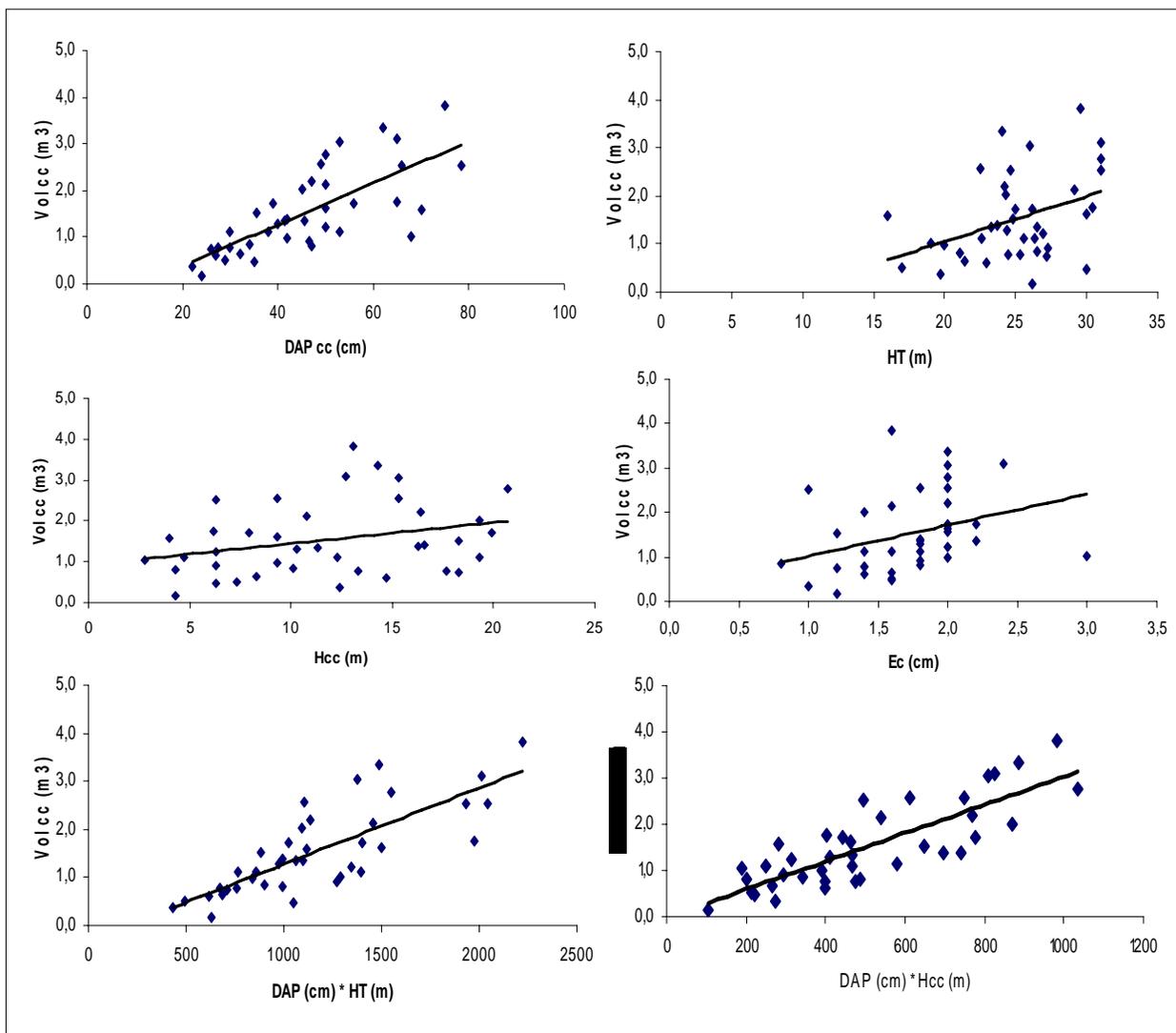


Figura 7. Relación entre el volumen con corteza y el DAP, HT, Hcc, EC y las combinaciones de DAP*HT y DAP*Hcc para Tapa.

En cambio para Tapa (Figura 7), las correlaciones más altas (positivas) se dieron entre el volumen y las combinaciones de DAP*Hcc (0.821) y DAP*HT (0.789), seguido por el volumen y el DAP (0.734); mientras que con la altura total (0.394), espesor de corteza (0.327) y altura comienzo de copa (0.296) se presentó la mayor dispersión de los puntos, lo que se traduce en una ausencia de correlación entre las variables.

4.4 Modelos de volumen

4.4.1 Preselección y evaluación de los modelos

El cuadro 7 muestra los resultados del ajuste de las funciones con los coeficientes de la regresión y el coeficiente de determinación (R^2) calculados.

Cuadro 7. Coeficientes de la regresión y el coeficiente de determinación para Coigüe y Tepa.

Modelo	Coigüe			Tepa		
	Coeficientes de la regresión		R^2	Coeficientes de la regresión		R^2
(1) Factor de forma constante (Spurr, 1952)	b1	0,000062817	0,9718	b1	0,000060112	0,9783
(2) Variables combinadas de Spurr, 1952	b0	0,185182678	0,8248	b0	0,214983531	0,9317
	b1	0,000054097		b1	0,000053916	
(3) Australiano (Stoate)	b0	-0,502738873	0,8673	b0	0,188043702	0,9449
	b1	0,000681003		b1	0,000074647	
	b2	-0,000001618		b2	0,000050170	
	b3	0,055922271		b3	-0,004699462	
(4) Naslund	b1	0,000583376	0,9807	b1	0,000111655	0,9851
	b2	-0,000001207		b2	0,000052026	
	b3	0,000050786		b3	-0,000023386	
	b4	0,000140283		b4	0,000895001	
(5) Schumacher – Hall	b0	-8,861129863	0,9235	b0	-8,974657772	0,9658
	b1	1,939838012		b1	1,951546304	
	b2	0,774661905		b2	0,791859503	
(6) Logaritmo de variables combinadas, (Spurr, 1952)	b0	-8,927092738	0,9173	b0	-8,794975346	0,9497
	b1	0,926381956		b1	0,914152817	
(7) Korsun	b0	-9,132085722	0,9229	b0	-9,206956598	0,9654
	b1	1,997133499		b1	1,999625767	
	b2	0,778341814		b2	0,793152078	
(8) Forest Reserch Institute, Baden – Wuttemberg	b0	-18,7366022	0,9314	b0	-13,058662	0,9687
	b1	6,718679632		b1	4,055429713	
	b2	-0,680650367		b2	-0,281861984	
	b3	2,114070638		b3	0,998116156	
	b4	-0,288263402		b4	-0,051246570	

El primer coeficiente de la regresión o constante (b_0) representa el valor promedio de la variable respuesta y cuando x es igual a cero. El segundo coeficiente de la regresión o pendiente (b_1) indica el cambio promedio en la variable de respuesta y cuando x se incrementa en una unidad. El Coeficiente de Determinación (R^2), es una medida de la bondad de ajuste del modelo de regresión hallado e indica el porcentaje en que el modelo explica al error total.

El análisis gráfico de los residuales mostró heterocedasticidad³ de varianza en todos los modelos (para ambas especies), tal como se muestra en el Anexo 5.

Los valores residuales deberían esparcirse al azar alrededor de la línea horizontal representando un valor residual de cero. En este caso los puntos tienen una tendencia poco aleatoria a la línea de cero (Anexo 5).

Finalmente la obtención de estadísticos descriptivos, permitió observar diferencias existentes entre el volumen observado y los volúmenes estimados (Cuadros 8 y 9), como también lo permitió la gráfica del volumen observado versus el volumen estimado por modelo (Anexo 6).

Cuadro 8. Estadísticos descriptivos para el volumen observado y los estimados para Coigüe.

Modelos	Estadísticos descriptivos		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Volumen observado	1,14994	0,47318	0,41148
(1) Factor de Forma (Spurr, 1952)	1,12027	0,49901	0,44545
(2) Variables combinadas (Spurr, 1952)	1,14995	0,42922	0,37371
(3) Australiano (Stoate)	1,14996	0,44069	0,38322
(4) Naslund	1,15262	0,43213	0,37491
(5) Schumacher – Hall	1,14566	0,48577	0,42400
(6) Logaritmo de variables combinadas (Spurr, 1952)	1,1434	0,47799	0,41791
(7) Korsun	1,14555	0,48672	0,42876
(8) Forest Reserch Institute.	1,14061	0,45533	0,39921

³ La varianza en los diferentes niveles de cada uno de los dos factores no es constante.

Cuadro 9. Estadísticos descriptivos para el volumen observado y los estimados para Tapa.

Modelos	Estadísticos descriptivos		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Volumen observado	1,52701	0,89871	0,58854
(1) Factor de Forma (Spurr, 1952)	1,4628	0,96717	0,66118
(2) Variables combinadas (Spurr, 1952)	1,527	0,86749	0,56809
(3) Australiano (Stoate)	1,37174	0,80496	0,58682
(4) Naslund	1,50831	0,90456	0,59972
(5) Schumacher – Hall	1,52971	0,93798	0,61318
(6) Logaritmo de variables combinadas (Spurr, 1952)	1,52471	0,92416	0,60612
(7) Korsun	1,53014	0,94080	0,61484
(8) Forest Reserch Institute.	1,52414	0,90519	0,61484

Posterior a la evaluación de todos los criterios mencionados en el punto 3.7.1.1 se procedió a la ponderación y obtención del puntaje final por modelo para ambas especies (Anexo 7).

El cuadro 10 presenta la calificación final de los modelos de volumen preseleccionados por especie (En el Anexo 7, se muestra detalladamente como fue la evaluación de los modelos).

Cuadro 10. Ranking de los modelos de volumen preseleccionados

RANKING	Coigüe		Tepa	
	Modelo	Total Puntaje	Modelo	Total Puntaje
1°	(8) Forest Reserch Institute	19	(8) Forest Reserch Institute	19
2°	(4) Naslund	18	(5) Schumacher-Hall	18
3°	(5) Schumacher-Hall	16	(4) Naslund	16
4°	(3) Australiano (Stoate)	15	(7) Korsun	14
5°	(1) Factor de forma (Spurr, 1952)	14	(1) Factor de forma (Spurr, 1952)	14
6°	(7) Korsun	12	(3) Australiano (Stoate)	13
7°	(6) Logaritmo de variables combinadas, (Spurr, 1952)	11	(6) Logaritmo de variables combinadas, (Spurr, 1952)	11
8°	(2) Variables combinadas de Spurr, 1952	8	(2) Variables combinadas de Spurr, 1952	8

Los modelos que pasaran a la etapa final de evaluación y selección final fueron los cinco modelos que obtuvieron los mejores puntajes.

4.4.2 Selección y evaluación final de los modelos

A partir de la evaluación de los residuales, la heterocedasticidad de éstos y la dispersión de los valores, la muestra de datos se dividió en grupos para la evaluación final (Anexo 8).

El los cuadros 11 y 12 se presentan los resultados de la evaluación de cada modelo, en los estadísticos Diferencia Agregada y Raíz del Error Medio Cuadrático, para Coigüe y Tepa.

Cuadro 11. Diferencia Agregada (DIFA %) y Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC %) por grupo para Coigüe.

Modelos preseleccionados	DIFA (%)		REMC (%)	
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1	Grupo 2
(8) Forest Reserch Institute	6,82006	5,96165	-32,53786	41,00287
(4) Naslund	-5,86052	1,27319	18,73136	13,65394
(5) Schumacher-Hall	7,75771	6,80018	-32,69263	43,23227
(3) Australiano (Stoate)	-11,03106	2,38479	17,88339	13,69307
(1) Factor de forma (Spurr, 1952)	10,67631	-1,77130	22,91207	15,67497

Como se observa en el cuadro 11 para Coigüe los modelos de Forest Research Institute y Schumacher – Hall, tienden a subestimar en los dos grupos (Grupo 1, valores menores o iguales a 0; Grupo 2, valores mayores a 0), presentando un comportamiento más parejo del sesgo, 6,82 y 5,96% (Forest Research Institute); 7,75 y 6,80% respectivamente (Schumacher – Hall).

Los modelos de Naslund, Australiano y el Factor de forma de Spurr, presentan diferencias significativas entre los grupos (Grupo 1, Valores menores o iguales a 1; Grupo 2, valores mayores a 1). El modelo de Naslund y el Australiano tienden a la sobrestimación en el grupo 1, con -5,86 y -11,03% respectivamente y en el grupo 2 tienden a la subestimación con un 1,27 y 2,38% respectivamente.

En cuanto a los errores como se observa en el cuadro 11, los modelos que presentan los menores errores en los grupos 1 y 2, corresponden a el Australiano (17,88 y 13,69%) y el de Naslund (18,73 y 13,65% respectivamente).

Los modelos Forest Research Institute y Schumacher – Hall, presentan los errores más altos en el grupo 2, con un 41 y 43,23%, además de una alta variabilidad entre grupos.

Por lo tanto, aunque los modelos Forest Reserch Institute y Schumacher Hall presenten los valores menores de sesgo se dio mayor importancia en la selección final al error. Es por ello que se recomienda para Coigüe el modelo de Naslund, siendo éste el segundo error más bajo en los grupos 1 y 2 con 18,73 y 13,65% respectivamente; y en lo que se refiere al sesgo este modelo presentó una variabilidad entre los grupos, la cual, no fue significativa, a comparación del resto de los modelos.

Cuadro 12. Diferencia Agregada (DIFA %) y Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC %) por grupo para Tapa.

Modelos preseleccionados	DIFA (%)			REMC (%)		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
(8) Forest Reserch Institute	-2,05950	-0,31119	-2,07015	-19,37463	28,17054	4,17721
(5) Schumacher-Hall	1,24184	2,76218	-4,29400	-22,38652	28,44052	6,55334
(4) Naslund	-0,03998	1,58641	1,36006	11,03198	16,52235	10,72336
(7) Korsun	1,35067	4,03394	-5,00632	-22,67856	30,60561	6,91403
(1) Factor de forma (Spurr, 1952)	16,64555	9,54333	-2,86689	24,58416	18,49464	13,12849

Como se observa en el cuadro 12 para Tapa, el Modelo de Naslund es el que presenta los valores de sesgo más bajos y un comportamiento similar en los tres grupos (Grupo 1, Valores menores o igual a 1; Grupo 2, valores mayores a 1 y menores o igual a 2; Grupo 3, valores mayores a 2), sobrestimando en el grupo 1 con -0,03% y subestimando en los grupos 2 y 3 con 1,5 y 1,3% respectivamente.

En cuanto a los errores el modelo de Naslund es el más eficiente con un comportamiento regular en los tres grupos. Presentó los menores errores en los grupos 1 y 2, con 11,03 y 16,52% respectivamente. En el grupo 3 este modelo es el 4 menor error de los modelos preseleccionados.

En el siguiente cuadro se presentan las funciones finales de volumen ajustadas para Coigüe y Tapa, con sus respectivos coeficientes de la regresión.

Cuadro 13. Funciones de volumen ajustadas para Coigüe y Tapa.

Especie	Función de Volumen
Coigüe	$V = 0,000583376 \cdot D^2 - 0,000001207 \cdot D^2 \cdot H + 0,000050786 \cdot D \cdot H^2 + 0,000140283 \cdot H^2$
Tapa	$V = 0,000111655 \cdot D^2 + 0,000052026 \cdot D^2 \cdot H - 0,000023386 \cdot D \cdot H^2 + 0,000895001 \cdot H^2$

Donde:

V = Volumen bruto total con corteza (m³).

D = DAP (cm)

H = Hcc, altura comienzo de copa (m).

4.4.3 Aplicación de las funciones de volumen

En los cuadros 14 y 15 se presentan tablas de rodal y existencia, para Coigüe y Tepa respectivamente, en donde, se utilizaron las funciones de volumen ajustadas para el cálculo de éste.

Cuadro 14. Tabla de rodal y existencia para Coigüe.

Marca de Clase (cm)	N/ha	G/ ha (m ²)	Vol/ ha (m ³) original	HCC media (m)	Vol/ ha (m ³) estimado
10	15	0,12	1,8	4,3	1,05
20	97	3,05	33,6	6,9	27,64
30	220	15,55	157,1	9,5	146,29
40	155	19,48	191,8	12,1	190,41
50	98	19,24	190,4	14,7	195,45
60	9	2,54	23,9	17,3	26,83
70	3	1,15	11,5	19,9	12,63
Total	597	61,9	610,2	12,1	600,30

El cuadro 14, corresponde a un Renoval Siempreverde de Coigüe, el cual presentó 597 árboles/ha, un DMC de 36,3 cm, 61,9 m²/ha de área basal y 610,2 m³/ha de volumen.

A partir de la utilización de la función final de volumen ajustada, se estimó para este bosque, un volumen bruto total (hasta el comienzo de la copa) de 600,30 m³/ha, para lo cual, se utilizó, la altura comienzo de copa media estimada de 12,1 m, y el DMC (36,3 cm).

Cuadro 15. Tabla de rodal y existencia para Tepa.

Marca de Clase (cm)	N/ha	G/ ha (m ²)	Vol/ ha (m ³) original	HCC media (m)	Vol/ ha (m ³)
10	82	0,64	7,4	12,3	14,35
20	105	3,30	36,5	11,9	37,03
30	118	8,34	88,1	11,5	78,40
40	80	10,05	110,4	11,1	87,81
50	47	9,23	98	10,7	77,06
60	25	7,07	80,4	10,3	56,94
70	11	4,23	43,3	9,9	32,99
80	4	2,01	20,5	9,5	15,17
90	4	2,54	26,6	9,1	18,57
100	0	0,00	0	8,7	0,00
110	2	1,90	18,9	8,3	12,94
Total	478	49,32	530,2	10,3	431,26

El cuadro 15, corresponde a un Bosque Adulto Denso de Tepa, el cual presentó 478 árboles/ha, un DMC de 57,6 cm, 49,32 m²/ha de área basal y 530,2 m³/ha de volumen.

A partir de la utilización de la función final de volumen ajustada, se estimó para este bosque, un volumen bruto total (hasta el comienzo de la copa) de 431,26 m³/ha, para lo cual, se utilizó, la altura comienzo de copa media estimada de 10,3 m, y el DMC (57,6 cm).

4.5 Modelos de Ahusamiento

4.5.1 Preselección y evaluación de los modelos

El cuadro 16 muestra los resultados del ajuste de las funciones con los coeficientes de la regresión, el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de estimación calculado para ambas especies.

Cuadro 16. Coeficientes de la regresión, el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de estimación para Coigüe y Tepa.

Modelo	Coigüe			Tepa				
	Coeficientes de la regresión		R^2	Error estándar de estimación	Coeficientes de la regresión		R^2	Error estándar de estimación
(1) Coffré, (1981)	b_1	5,0876	0,9126	0,2620	b_1	4,9315	0,9116	0,2598
	b_2	-9,0391			b_2	-8,6654		
	b_3	4,9895			b_3	4,8032		
(2) Kozak, (1969)	b_1	1,1961	0,3744	0,6749	b_1	1,8365	0,4672	0,5961
	b_2	-1,6770			b_2	-2,2175		
(3) Real y Moore (1987)	b_1	-13,9669	0,5645	0,5640	b_1	-11,3657	0,4866	0,5857
	b_2	3,0338			b_2	2,0078		
	b_3	-0,0019			b_3	-0,0007		
(4) Bruce et. al. (1968)	b_1	0,9740	0,8507	0,3317	b_1	1,1279	0,8498	0,3178
	b_2	0,0271			b_2	0,0163		
	b_3	0,0219			b_3	0,0292		
	b_4	-0,0001			b_4	-0,0000		
	b_5	0,0450			b_5	0,0230		
	b_6	-0,0005			b_6	-0,0006		

En cuanto al criterio del coeficiente de determinación y el del error estándar de estimación los modelos de Coffré y el de Bruce, presentaron el mayor R^2 y el menor error para ambas especies.

Se realizó un análisis de sus residuales, el cual mostró heterocedasticidad de varianza en todos los modelos probados para Coigüe y Tepa, teniendo una tendencia poco aleatoria a la línea del cero.

En cuanto a la simpleza del modelo, cabe destacar los problemas negativos de éstos, como fue el caso de los modelos de Kozak y el de Real y Moore, ambos presentando valores negativos, lo que dificultó la obtención de los y estimados.

En el siguiente cuadro se presenta la calificación obtenida por los modelos de ahusamiento en la etapa de preselección, para las dos especies. En el anexo 9 se muestra detalladamente la obtención del puntaje total.

Cuadro 17. Calificación de los modelos preseleccionados para ambas especies.

RANKING	Coigüe		Tepa	
	Modelos	Total Puntaje	Modelo	Total Puntaje
1°	(1) Coffré, (1981)	12	(1) Coffré, (1981)	11
2°	(4) Bruce et. al. (1968)	9	(4) Bruce et. al. (1968)	10
3°	(3) Real y Moore (1987)	2	(3) Real y Moore (1987)	2
4°	(2) Kozak, (1969)	1	(2) Kozak, (1969)	1

Por lo tanto, los dos modelos preseleccionados correspondieron a los de Cofré y al de Bruce. et.al, para ambas especies.

4.6.2 Selección y evaluación final de los modelos.

A partir de la evaluación de los residuales, la heterocedasticidad de éstos y la dispersión de los valores estimados, la muestra de datos se dividió en tres grupos (Anexo 10) para el cálculo de los estadísticos Diferencia Agregada (DIFA %) y Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC %) para ambas especies.

En los cuadros 18 y 19 se presentan los resultados de la evaluación de cada modelo, en los estadísticos DIFA % y REMC % para Coigüe y Tepa.

Cuadro 18. Diferencia Agregada (DIFA %) y Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC %) por grupo para Coigüe.

Modelos preseleccionados	DIFA (%)			REMC (%)		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Cofré, (1981)	49,18	-2,33	-1,27	62,89	10,89	17,53
Bruce et. al. (1968)	36,04	-8,38	4,20	47,13	21,23	39,64

Como se observa en el cuadro 18 para Coigüe, los modelos de Cofré y Bruce tienden a la subestimación en el grupo 1 (valores menores o iguales a 0,8), con 49,18% y 36,04% respectivamente. En el grupo 2 (valores mayores a 0,8 y menores o iguales a 1,2) Cofré y Bruce tienden a la sobreestimación con -2,33% y -8,38%. Finalmente en el grupo 3 (valores mayores a 1,2) el modelo de Cofré tiende a la sobreestimación con -1,27% y Bruce a la subestimación con 4,20%. En general ninguno de los dos modelos presenta un comportamiento parejo del sesgo.

En cuanto a los errores (Cuadro 18), el modelo que presentó el menor error en el grupo 1 fue el de Bruce, con 47,13 %. En los grupos 2 y 3 el modelo de Cofré fue el que manifestó los valores menores de error con 10,89 % y 17,53 % respectivamente.

A partir de la siguiente figura se aprecia en forma gráfica el comportamiento de los modelos en cuanto al sesgo y a la exactitud.

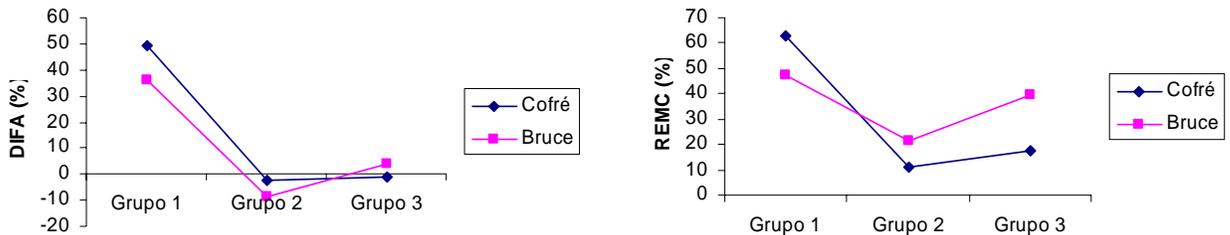


Figura 8. Diferencia Agregada (DIFA %) y Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC %) por grupo para Coigüe.

Se observa que el modelo de Cofré (1981) presenta un comportamiento más parejo en cuanto al sesgo, tendiente hacia la línea del cero, y en general menor error, es por ello, que para Coigüe se recomienda este modelo.

Cuadro 19. Diferencia Agregada (DIFA %) y Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC %) por grupo para Tepa.

Modelos preseleccionados	DIFA (%)			REMC (%)		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Cofré, (1981)	45,91	-1,34	-13,78	63,12	10,03	23,23
Bruce et. al. (1968)	35,90	-10,20	9,37	48,28	20,83	21,85

Como se observa en el cuadro 19, Tepa al igual que Coigüe en el grupo 1, Cofré y Bruce tienden a subestimar con 45,91% y 35,90% respectivamente. En el grupo 2, los modelos de Cofré y Bruce tienden a sobreestimar con -1,34% y -10,20%. Finalmente en el grupo 3, Cofré tiende a la sobreestimación con -13,78% y Bruce a la subestimación con 9,37%.

En cuanto a los errores como se observa en el cuadro 19, el modelo que presentó el menor error en los grupos 1 y 3 fue el de Bruce, con 48,28% y 21,85% respectivamente. En el grupo 2, Cofré manifestó el menor error de 10,03%.

La figura 9 presenta el comportamiento de los estadísticos de sesgo y exactitud por grupo para Tepa.

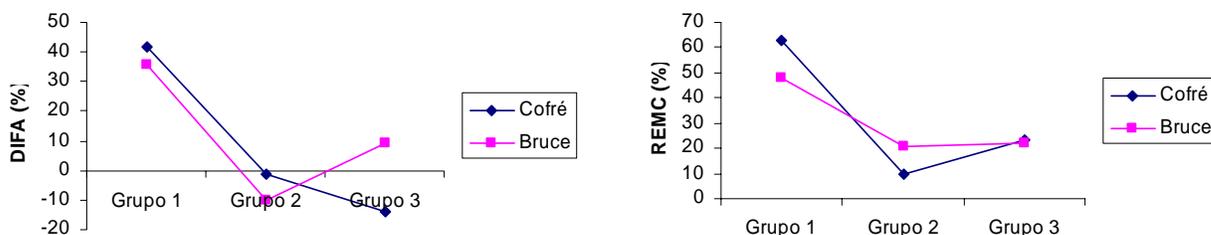


Figura 9. Diferencia Agregada (DIFA %) y Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC %) por grupo para Tepa.

Como se observa en la figura ninguno de los dos modelos presenta un comportamiento parejo en cuanto al sesgo, es por ello, que se le dio mayor importancia al error en la selección final del modelo para Tepa. Por lo tanto, se recomienda para esta especie el modelo de Bruce.

En el siguiente cuadro se presentan las funciones finales de volumen ajustadas para Coigüe y Tepa, con sus respectivos coeficientes de la regresión.

Cuadro 20. Funciones de ahusamiento ajustadas para Coigüe y Tepa.

Especie	Función de Ahusamiento
Coigüe	$Y = 5,0876 * X - 9,0391 * X^2 + 4,9895 * X^3$
Tepa	$Y^2 = 1,1279 * X^{1,5} + 0,0163 * A_1 + 0,0292 * A_2 - 0,0000 * A_3 + 0,0230 * A_4 - 0,0006 * A_5$

Donde:

$$Y = \text{Disc} / \text{Dapsc}$$

Disc = Diámetro sin corteza a la altura H_j en el fuste (cm.)

Dapsc = Dap con corteza (cm.)

$$X = (Hcc - H_j) / (Hcc - 1.3)$$

Hcc = altura del fuste utilizable o comienzo de copa (Hcc)

H_j = altura de medición en el fuste

b_1 b_n = coeficientes de la regresión

$$A_1 = (X^{1.5} - X^3) \text{Dap}$$

$$A_2 = (X^{1.5} - X^3) \text{Hcc}$$

$$A_3 = (X^{1.5} - X^{32}) \text{Dap} * \text{Hcc}$$

$$A_4 = (X^{1.5} - X^{32}) \text{Hcc}^{0.5}$$

$$A_5 = (X^{1.5} - X^{40}) \text{Hcc}^2$$

4.4.3 Aplicación de las funciones de ahusamiento

A partir de la utilización de las funciones de ahusamiento ajustadas, en los cuadros 21 y 22, se presentan tablas de ahusamiento confeccionadas para un Renoval Siempreverde de Coigüe y un Bosque Adulto Denso de Tepa. En ellas se muestran los diámetros (estimados), a las distintas alturas de medición permitiendo observar los productos posibles de obtener. Para Coigüe se utilizó un DMC de 36,3 cm y una altura comienzo de copa media estimada de 12,1 m. Para Tepa DMC se utilizó un DMC de 57,6 cm y una altura comienzo de copa media estimada de 10,3 m.

Cuadro 21. Tabla de ahusamiento para Coigüe.

H_j	Dm estimado	Productos
0,3	46,3	Debobinable
1,3	37,7	Aserrable
2,3	32,7	
3,3	30,6	
4,3	30,5	
5,3	31,4	
6,3	32,6	
7,3	33,2	
8,3	32,2	
9,3	29,0	
10,3	22,5	
11,3	12,0	Leña

Cuadro 22. Tabla de ahusamiento para Tepa.

H_j	Dm estimado	Productos
0,3	103,7	Debobinable
1,3	61,2	
2,3	61,0	
3,3	59,0	
4,3	55,5	
5,3	50,6	
6,3	44,5	Aserrable
7,3	37,0	
8,3	28,0	
9,3	16,9	Leña

Donde:

Dm = Diámetro estimado a la altura de medición

H_j = altura de medición en el fuste

A partir de las especificaciones como diámetros mínimos (45 cm debobinable, 20 cm aserrable y 5 cm Leña) (Cisternas, 2007), los siguientes cuadros presentan una estimación de los productos posibles de obtener de estos bosques, a partir de la utilización de la funciones ajustadas. Cabe destacar que los volúmenes por producto corresponden a los volúmenes brutos, es decir, sin deducciones por defecto (no se encuentran con los descuentos por las restricciones en términos calidad).

Cuadro 23. Productos obtenidos de Coigüe.

Marca de Clase (cm)	Vol/ ha (m3)	Productos	Vol. Producto (m ³) / ha estimado
10	1,05	Leña	1,05
20	27,64	Aserrable	364,35
30	146,29		
40	190,41		
50	199,44	Debobinable	238,89
60	26,83		
70	12,63		
Total	604,29⁴	Total	604,29

Cuadro 24. Productos obtenidos de Tepa.

Marca de Clase (cm)	Vol (m3)/ha	Productos	Vol. producto (m ³)/ha estimado
10	14,35	Debobinable	51,380
20	37,03		
30	78,40		
40	87,81	Aserrable	243,263
50	77,06		
60	56,94		
70	32,99	Leña	136,611
80	15,17		
90	18,57		
100	0,00		
110	12,94		
Total	431,25⁵	Total	431,25

⁴ Volumen bruto total calculado hasta el comienzo de la copa, a través, de la función de volumen ajustada para Coigüe.

⁵ Volumen bruto total calculado hasta el comienzo de la copa, a través, de la función de volumen ajustada para Tepa.

5. CONCLUSIONES

El volumen de las especies Coigüe y Tepa, está fuertemente correlacionado con el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT) y la combinación de éstas, siendo el espesor de corteza (EC) y la altura comienzo de copa (Hcc) las menos significativas.

En la selección final de los modelos de volumen se recomienda darle un mayor énfasis a la medida de exactitud o error (REMC), aunque éstos presenten valores menores de sesgo (DIFA). Es por ello y de acuerdo a los resultados obtenidos el modelo de Naslund fue el más eficiente en ambas especies, sugiriéndose su uso en ellas.

Se recomienda la medición de la altura comienzo de copa o longitud del fuste utilizable (Hcc), como variable independiente para el ajuste y uso de los modelos de volumen en especies nativas.

El modelo de ahusamiento que presentó menor error (REMC) y un comportamiento parejo en cuanto al sesgo (DIFA) en Coigüe fue el modelo de Coffré, es por ello que se recomienda su uso en esta especie.

Para Tepa ninguno de los modelos de ahusamiento preseleccionados presentó un comportamiento parejo en cuanto al sesgo (DIFA), es por ello, que se le dio mayor importancia al error (REMC) en la selección final, siendo el modelo de Bruce el más eficiente.

La gran mayoría de los modelos de ahusamiento están propuestos para coníferas, es por ello, que se recomiendan algunas transformaciones en las variables por tratarse de especies nativas, como la utilización de la altura comienzo de copa o longitud del fuste utilizable (Hcc) y la medición del diámetro a esta altura.

El ajuste de estos modelos de volumen y ahusamiento, constituyen una importante herramienta biométrica para el pequeño y mediano propietario del bosque nativo, ya que entregan el volumen en forma directa, sin necesidad de complejos cálculos matemáticos, y permiten estimar el surtido de productos posible de obtener del manejo del bosque dadas las especificaciones (diámetros y largos mínimos y máximos, posición en el árbol) para productos tales como trozos pulpables, aserrables o chapas de varias calidades.

6. BIBLIOGRAFIA

- Carrasco, J. P. 1986. Estudio comparativo de dos métodos para evaluar la calidad de los árboles en pie y para representar la forma del fuste en el Bosque Siempreverde Valdiviano. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 117 p.
- Cisternas, J.C.; Rojas M.; Céspedes, E. 2006. Ordenamiento Forestal a la Cuenca del Río Mirta, para el Manejo Sustentable del Bosque Nativo. I etapa. Convenio CONAF - Propietarios - INFOR. Documento técnico. 23 p.
- Cisternas, J. 2007. Catastro de Productos Forestales, "Plan de Ordenación de la Cuenca del Valle Mirta". Corporación Nacional Forestal, XI Región, Área La Junta. Documento técnico. 34 p.
- Cofré, L. 1983. Modelos Fustales. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 46 p.
- CONAF – CONAMA. 1997. Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. 88 p.
- Cruces, P.; Cerda, J.; Ahumada, M. 1999. Guías de Condición para los Pastizales de la Ecorregión Templada Húmeda de Aysén. Proyecto FNDR-SAG XI Región de Ahusen. Levantamiento para el Ordenamiento de los Ecosistemas de Aysén. 137 p.
- Donoso, C. 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento del Trabajo N° 38. Publicación FAO/Chile. 70 p
- Donoso, C. 1993. Bosques templados del Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Cuarta edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 483 p.
- Drake, F.; Emanuelli, P., Acuña, E. 2003. Compendio de Funciones Dendrométricas del Bosque Nativo. Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo. CONAF/KfW/DED/GTZ. 197 páginas.
- García, O. 1995. Apuntes de mensura forestal. I. Estática. Cátedra de Mensura Forestal. Instituto de Manejo. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 85 p.
- Higuera, C. 1994. Funciones de volumen y ahusamiento para roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst) y hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Kraser). Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 70 p.

- INFOR. 2003. Proyecto Generación de Modelos de Manejo Sustentable en Bosque Nativo y Guías Expertas de Manejo Forestal para Pequeños y Medianos productores. Formulario de presentación. 21 p.
- INFOR. 2005. El sector Forestal Chileno en una mirada. (Boletín estadístico 101, Estadísticas forestales 2004 del INFOR, el catastro vegetacional de CONAF-CONAMA, el Censo Agropecuario del INE y la base de datos de la FAO). 64 p.
- Loetsch, F.; Zohrer, F.; Haller K. 1973. Forest Inventorty. München, Germany, BLV Verlagsgesellschaft. Volume 2.
- Taucher, E. 1997. Bioestadística. Primera edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 310 p.
- Peña, M.; Moraga, L. 2006. Clasificación de Coberturas Vegetales y Caracterización Integrada de Suelos. Estudio Cartográfico. "Plan de Ordenación de la Cuenca del Valle Mirta". Corporación Nacional Forestal, XI Región, Área La Junta. 43 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F.y P. Real. 1997. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica, 561 p.

ANEXOS

Anexo 1.
Abstract and keywords

EXECUTIVE SUMMARY

Models of volume and tapering fitted up for the main native species belonging to the Siempreverde forestall type, located in the Mirta Valley, La Junta's locality, Aysen's XI Region. The species used on this work were *Nothofagus dombeyi* (common Coigüe), and *Laureliopsis phillipiana* (Tepa).

As from the selection of trees and the measurement, proceeds the information processing, which had within its stages the validation and depuration, in addition to the sample description.

The adjusted volume and tapering models, suffered through a process of preselection, which was based on distinct criteria: The Coefficient of determination (R^2), Standard error of estimate, Analysis of residuals, and simplicity of the model. Besides, for the volume models, the residual's standard deviation was calculated and the descriptive statistical along with confection of observed volume versus estimated volume graphics were obtained.

As from a ranking of preselection, the volume and tapering models with better score passed to a final stage of evaluation and final selection, for that, the sample split into groups (division that depended on the behaviour of the residuals), with the objective of the obtaining of the exactness measure like the Mean square error and for the case of the bias the added difference.

For both species the most efficient volume model turned out to be the Naslund model, that utilizes like independent variables the diameter at breast height (DBH), and the height of the usable pole, defined as initial crown height.

For Coigüe this model presented the second error of lowermost exactness in the groups and in which this model is referred to the bias presented a variability among groups, which was not significant, comparing it with the rest of the models.

For Tepa this model was the most efficient, it presented a regular behaviour of the errors of exactness among groups and low values of bias.

The model of tapering that presented lower errors of exactness and an even behaviour as to the bias in Coigüe was Coffré's model, that's the reason why its use in this specie is recommended.

For Tepa none of the models of tapering preselected presented an even behaviour as to the bias, that's why, that we gave a bigger importance to the error of exactness in the final selection, being Bruce's model the most efficient.

Key words: *Nothofagus dombeyi*, *Laureliopsis phillipiana*, volume models, tapering models, errors of exactness, bias.

Anexo 2
Ubicación de la localidad de la Junta.



Figura 1. Ubicación de la localidad de La Junta, XI Región de Aysén.

Fuente: Google 2006.

Anexo 3
Parámetros dasométricos y calidad árboles

Cuadro 1. Parámetros dasométricos antes de la extracción.

Especie	N/ha	G (m2/ha)	Altura media (m)	DMC (cm)
Tepa	387	45,16	25,1	37,1
Coigüe	380	46,14	24,6	39,3

Cuadro 2. Calidad de los individuos antes de la extracción.

CALIDAD	Árbol en pie	Código o grado
Criterio	Descripción	
Sanidad	Sección o fuste aparentemente sano, sin ningún índice de ataque.	1
	Sección o fuste con signos de daños locales de poca extensión	2
	Sección o fuste con daños	3
Forma	Sección o fuste cilíndrico o casi cilíndrico y recto	1
	Forma cilíndrica, solo una curvatura suave	2
	Sección transversal con concavidades, arqueaduras y torceduras fuertes; bifurcados	3

Anexo 4

Formulario para la captura de datos en terreno.

Anexo 5

Análisis de Residuales para todos los modelos y para cada una de las especies.

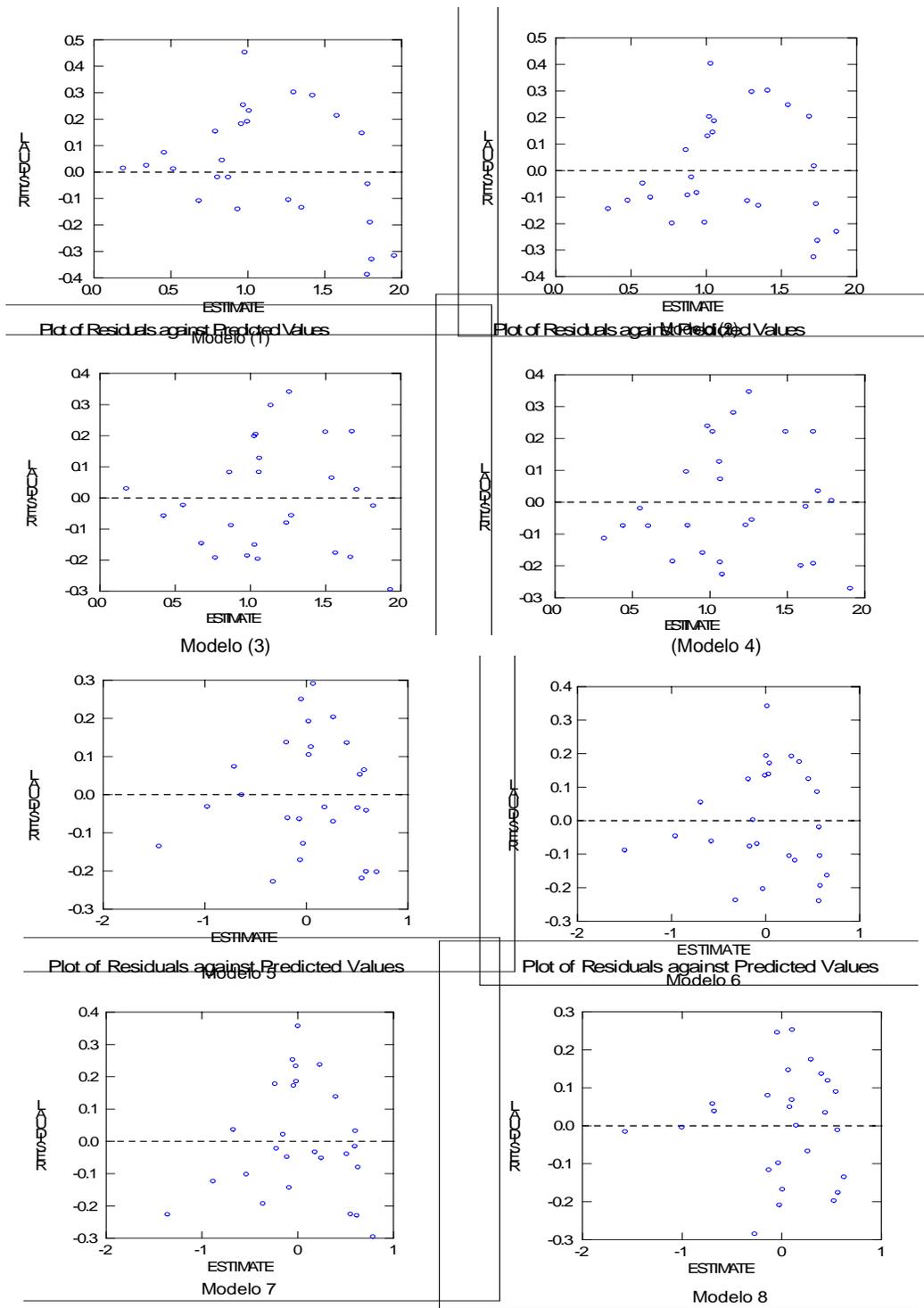


Figura 1. Análisis de los residuales para Coigüe.

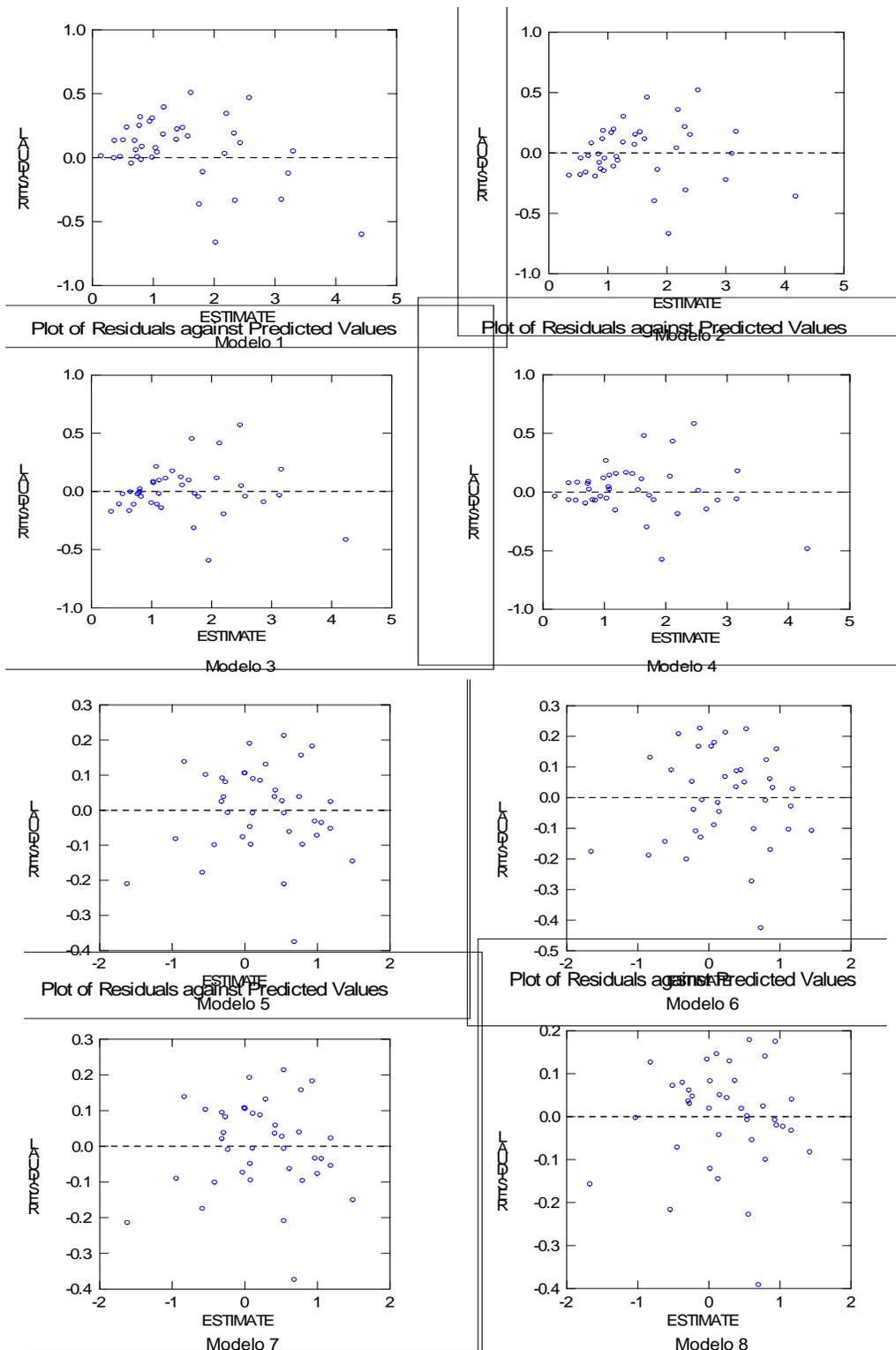


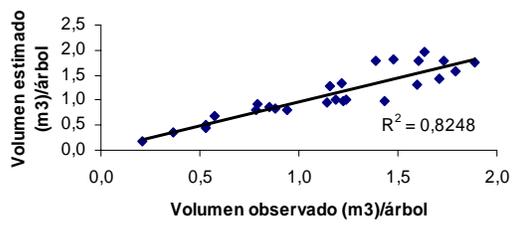
Figura 3. Análisis de los residuales para Tepa.

Anexo 6

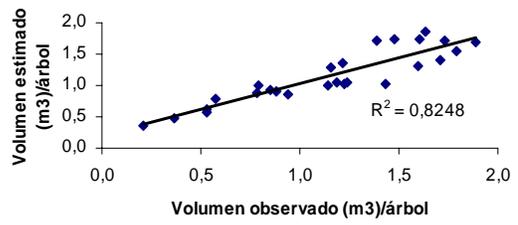
Desviación estándar de los residuales para todos los modelos y para las dos especies. Comparación grafica del volumen observado versus los estimados para Coigüe.

Cuadro 4. Desviación estándar de los residuales de los distintos modelos ajustados.

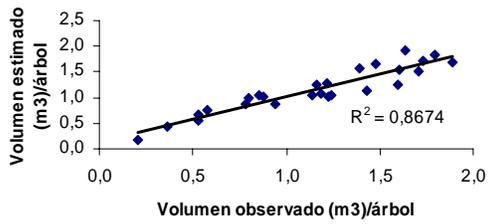
Modelo	Desviación estándar	
	Coigüe	Tepa
(1) Factor de Forma (Spurr, 1952)	0,20981	0,25510
(2) Variables combinadas (Spurr, 1952)	0,19805	0,23482
(3) Australiano (Stoate)	0,17233	0,21094
(4) Naslund	0,17536	0,21756
(5) Schumacher – Hall	0,15030	0,12427
(6) Logaritmo de variables combinadas (Spurr, 1952)	0,15623	0,15063
(7) Korsun	0,15070	0,12502
(8) Forest Reserch Institute.	0,14227	0,11880



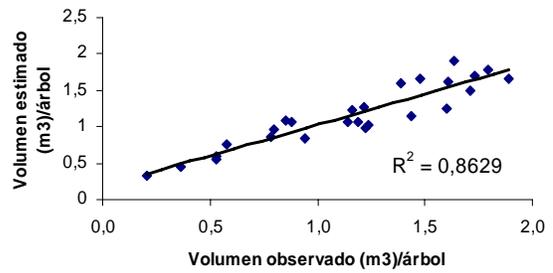
Modelo 1



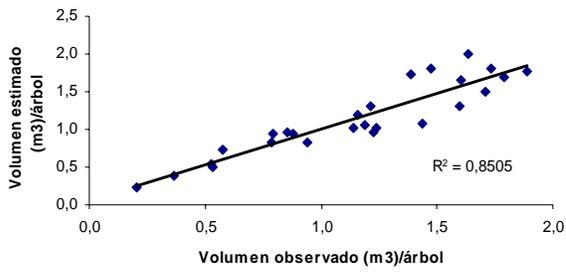
Modelo 2



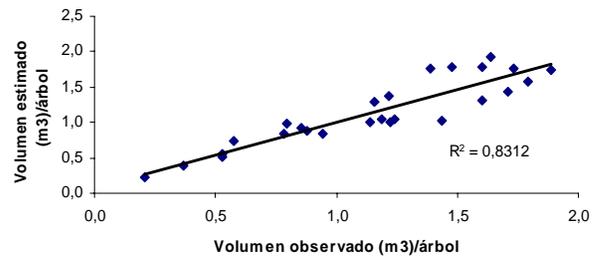
Modelo 3



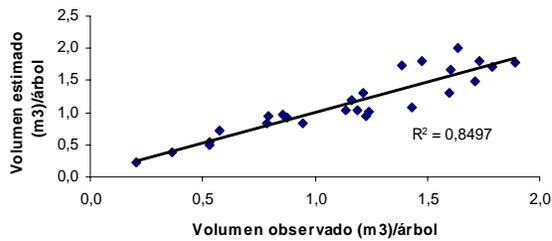
Modelo 4



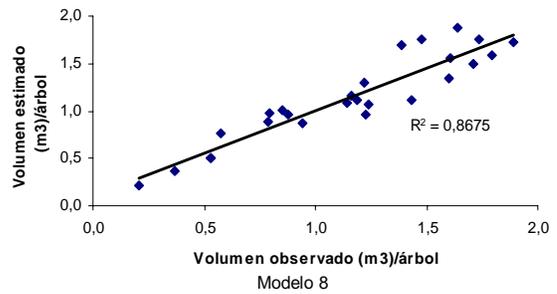
Modelo 5



Modelo 6

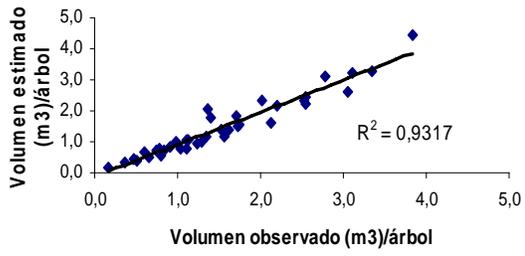


Modelo 7

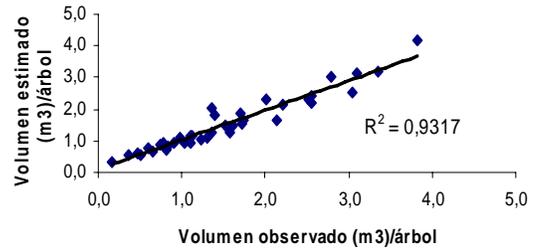


Modelo 8

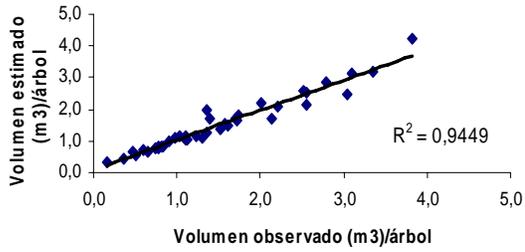
Figura 4. Comparación gráfica del volumen observado versus los estimados para Coigüe.



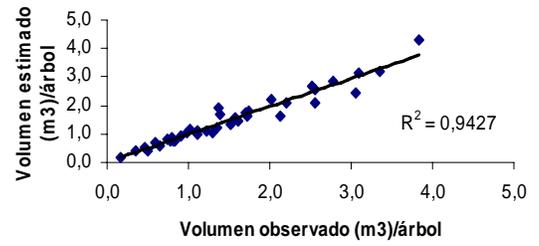
Modelo 1



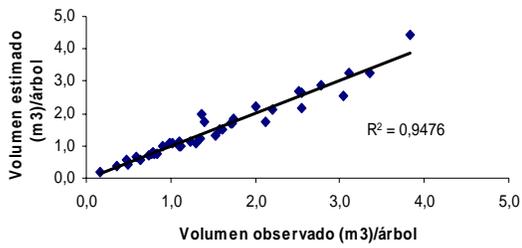
Modelo 2



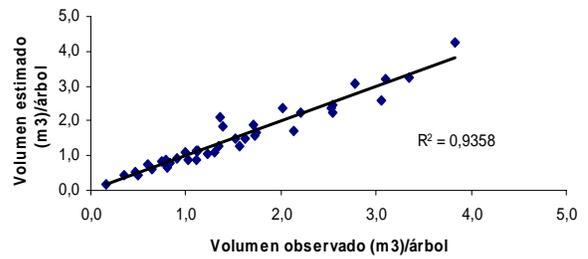
Modelo 3



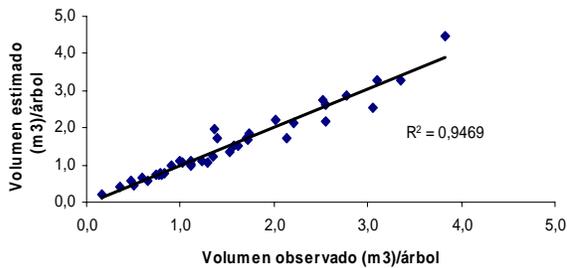
Modelo 4



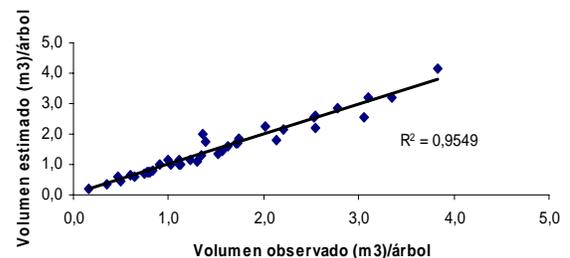
Modelo 5



Modelo 6



Modelo 7



Modelo 8

Figura 5. Comparación grafica del volumen observado versus los estimados para Tepa.

Anexo 7

Ponderaciones propuestas para la preselección de los modelos para ambas especies.

Cuadro 4. Ponderaciones propuestas para Coigüe.

R2		Des. Est. Residuales		Vol obs / Vol est		Simpleza	
Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje
4	7	8	7	8	7	1	7
1	6	5	6	3	6	2	6
8	5	7	5	4	5	3	5
5	4	6	4	5	4	4	4
7	3	3	3	7	3	6	3
6	2	4	2	6	2	5	2
3	1	2	1	2	1	7	1
2	0	1	0	1	1	8	0

(Puntaje máximo 7 puntos; Puntaje mínimo 0 puntos).

Cuadro 5. Ponderaciones propuestas para Tepa.

R2		Des. Est. Residuales		Vol obs / Vol est		Simpleza	
Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje
4	7	8	7	8	7	1	7
1	6	5	6	5	6	2	6
8	5	7	5	7	5	3	5
5	4	6	4	3	4	4	4
7	3	3	3	4	3	6	3
6	2	4	2	6	2	5	2
3	1	2	1	2	1	7	1
2	0	1	0	1	1	8	0

(Puntaje máximo 7 puntos; Puntaje mínimo 0 puntos).

Anexo 8

Grupos para la evaluación final de los cinco modelos preseleccionados por especie.

Cuadro 6. Grupos para el cálculo del DIFA (%) y el REMC (%) para Coigüe.

Modelos	Grupo 1	Grupo 2
(1) Factor de forma (Spurr, 1952) (3) Australiano (Stoate) (4) Naslund	Valores estimados menores o igual a 1	Valores estimados mayores a 1
(5) Schumacher-Hall (8) Forest Reserch Institute	Valores menores o igual a 0	Valores mayores a 0

Cuadro 7. Grupos para el cálculo del DIFA (%) y el REMC (%) para Tepa.

Modelos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
(1) Factor de forma (Spurr, 1952) (4) Naslund	Valores estimados menores o igual a 1	Valores estimados mayores a 1 y menores o igual a 2	Valores estimados mayores a 2
(5) Schumacher-Hall (7) Korsun (8) Forest Reserch Institute	Valores estimados menores o igual a 0	Valores estimados mayores a 0 y menores o igual a 1	Valores estimados mayores a 1

Anexo 9

Ponderaciones propuestas para la preselección de los modelos de ahusamiento para ambas especies.

Cuadro 8. Ponderaciones propuestas para Coigüe.

R2		Error estándar de estimación		Análisis de residuales		Simpleza	
Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje
1	3	1	3	1	3	1	3
4	2	4	2	4	2	4	3
3	1	3	1	2	1	2	0
2	0	2	0	3	0	3	0

(Puntaje máximo 4 puntos; Puntaje mínimo 0 puntos).

Cuadro 9. Ponderaciones propuestas para Tepa.

R2		Error estándar de estimación		Análisis de residuales		Simpleza	
Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje	Modelo	Puntaje
1	3	1	3	4	3	1	3
4	2	4	2	1	2	4	3
3	1	3	1	2	1	2	0
2	0	2	0	3	0	3	0

(Puntaje máximo 4 puntos; Puntaje mínimo 0 puntos).

Anexo 10

Grupos para la evaluación final de los dos modelos de ahusamiento preseleccionados por especie a partir del análisis de los residuales.

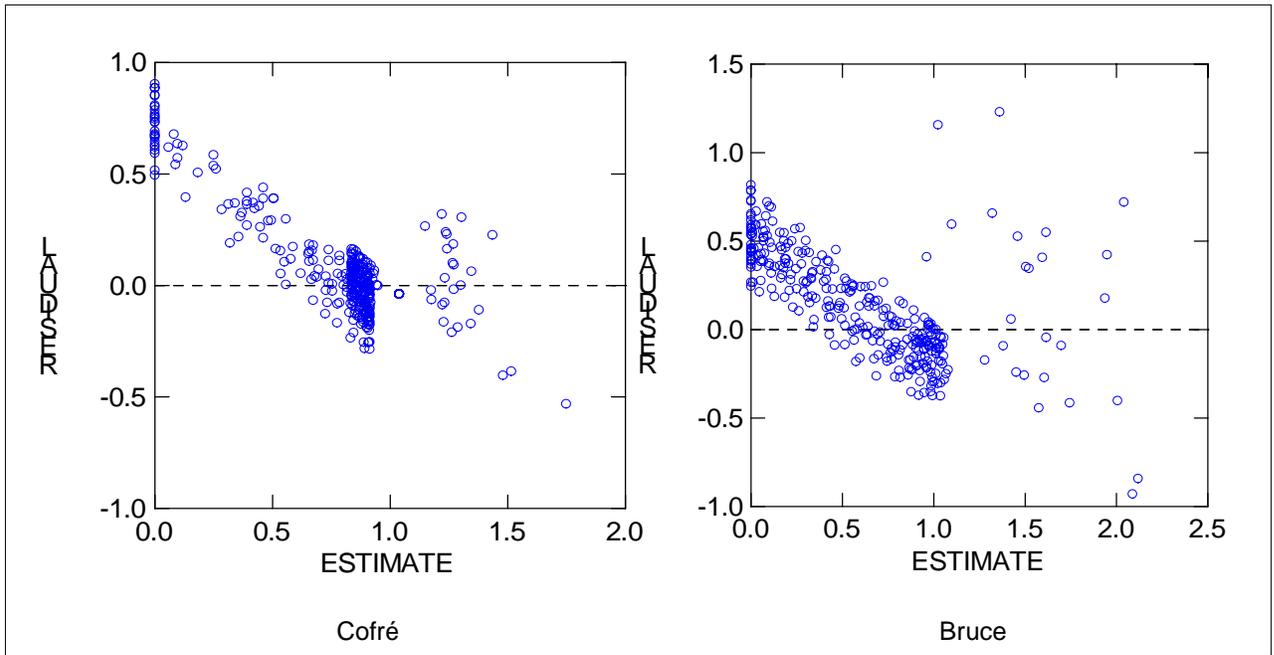


Figura 6. Análisis de los residuales de los modelos preseleccionados en Coigüe.

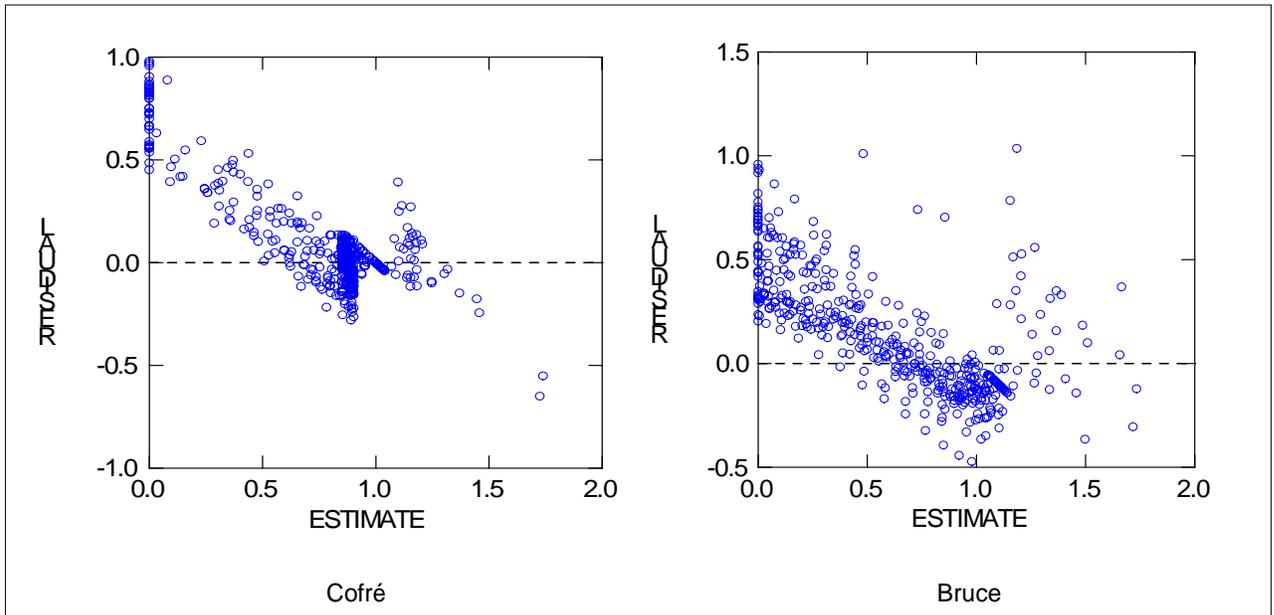


Figura 7. Análisis de los residuales de los modelos preseleccionados en Tepa.

Cuadro 10. Grupos para el cálculo del DIFA (%) y el REMC (%) para ambas especies.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Valores estimados menores o igual a 0.8	Valores estimados mayores a 0.8 y menores o igual a 1.2	Valores estimados mayores a 1.2