



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Compatibilidad de funciones de volumen y
ahusamiento para renovales de Roble
en la Décima Región**

Patrocinante: Sra. Alicia Ortega Z.

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

MARIO ANTONIO PÉREZ PÉREZ

VALDIVIA

2004

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sra. Alicia Ortega Zúñiga	6,6
Informante:	Sr. Víctor Sandoval Vásquez	6,0
Informante:	Sr. Mauro González Cangas	6,3

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 Z.

Agradecimientos

Los agradecimientos: Esta es una de las partes que más me ha costado en el Trabajo de Titulación, no por que no tenga a nadie a quien agradecer, a ellos los tengo muy claro y solo espero reflejar en pocas y sencillas palabras mi gratitud hacia ellos.

Primero que nada agradecer a mi profesora guía: Sra. Alicia Ortega, por darme la oportunidad de realizar este trabajo y ayudarme siempre en el desarrollo de este, pero lo más importante por su amabilidad y simpatía con la que siempre me recibió en su oficina, de verdad gracias. También agradezco a mis profesores informantes, al profesor Víctor Sandoval, quién aunque siempre estaba muy ocupado, se daba el tiempo para ayudarme en mi trabajo. También agradezco al profesor Mauro González que aunque tuve menos contacto con él, se preocupó de hacer la mayor cantidad de correcciones en mi Trabajo de Titulación, con el propósito de aumentar la calidad de mi trabajo.

A mis padres, sin duda los más importantes en todo esto, por creer en mí, por su esfuerzo, por su apoyo constante, son lejos los mejores "Papas", a ustedes les agradezco diariamente, estas palabras son pocas, un beso y un abrazo son mejores. A mis hermanas Sandra y Angélica por su preocupación, apoyo y buena onda, gracias.

A mis amigos: Fredy, aunque te conocí en la etapa final, siempre con tus bromas y chistes me subías el ánimo y ayudabas a que los trabajos fueran mas entretenidos. A José Luis un tipo consecuente en su forma de ser, además por pasarlo bien en los carretes. Alejandro, una gran persona, lamentablemente no terminamos juntos la carrera, aunque fue poco el tiempo que compartimos, siempre te he considerado mi amigo. Por último a un gran amigo, Alamiro, quién es sin duda uno de los responsables de este logro, a lo largo de toda la carrera me ayudó en lo académico, pero lo principal, por su amistad, buen humor y apoyo en tantos momentos, gracias de verdad.

También agradezco a la familia de mi pensión, en especial a la Sra. Adriana que en su particular forma de ser, siempre me apoyaba para que pudiera hacer lo mejor.

Bueno, a todos muchas gracias...se inicia otra etapa en mi vida que espero sea tan especial como esta...sin duda lo será.

A mis padres
A mis hermanas
A la vida

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Descripción de funciones de volumen y ahusamiento	2
2.1.1 Funciones de volumen	2
2.1.2 Funciones de ahusamiento	3
2.2 Compatibilidad de funciones de volumen y ahusamiento	4
2.3 Evaluación de los modelos de volumen y ahusamiento compatibles	5
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	7
3.1 Material	7
3.1.1 Base de datos	7
3.1.2 Área de estudio	9
3.2 Método	9
3.2.1 Análisis y depuración de datos	9
3.2.2 Test de Normalidad	10
3.2.3 Ajuste de funciones de volumen y ahusamiento compatibles	10
3.2.4 Validación de funciones de ahusamiento compatibles	11
3.2.5 Calibración de modelos de volumen y ahusamiento compatibles	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1 Parámetros y estadísticos de bondad de predicción obtenidos en el ajuste de los modelos compatibles	13
4.2 Estimación de volumen total en las zonas de crecimiento 1 y 2	14
4.3 Estimación de diámetros a distintas alturas	14
4.3.1 Estimación de diámetros a distintas alturas para la zona de crecimiento 1	14
4.3.2 Estimación de diámetros a distintas alturas para la zona de crecimiento 2	16
4.4 Estimación de alturas para distintos diámetros	18
4.4.1 Estimación de alturas a distintos diámetros en la zona de crecimiento 1	18
4.4.2 Estimación de alturas a distintos diámetros en la zona de crecimiento 2	20
4.5 Calibración del volumen total para la zona de crecimiento 3	22
4.6 Calibración de diámetros a distintas alturas en la zona de crecimiento 3	22

	Página	
4.7	Calibración de alturas a distintos diámetros en la zona de crecimiento 3	26
4.8	Calibración de alturas a distintos diámetros en la zona de crecimiento 3	26
5.	CONCLUSIONES	29
6.	BIBLIOGRAFÍA	31
	ANEXOS	
1	Abstract and keywords	
2	Variables base de datos "AHUSA.txt"	
3	Estadística descriptiva para bases de ajuste y calibración	
4	Zonificación área de estudio	
5	Test de Normalidad	
6	Residuales del ajuste de modelos compatibles para las zonas de crecimiento 1 y 2	

Resumen Ejecutivo

El objetivo general de este estudio consistió en el ajuste y validación de modelos de volumen y ahusamiento compatibles para renovales de Roble en la Décima Región. La base de datos utilizada en este proceso corresponde a mediciones y recopilación de información en el marco del proyecto FONDEF D911065 “Software de planificación de actividades en renovales de Roble-Raulí-Coigüe en la Décima Región”.

De este proyecto se utilizó la información contenida en tres zonas de crecimiento delimitadas a través de información climática, edáfica y vegetal, presentes en la Décima Región, de las cuales las zonas 1 y 2 fueron utilizadas en el proceso de ajuste y validación, mientras que en la zona 3 se realizó una calibración de los modelos previamente ajustados en las zonas de crecimiento 1 y 2.

Como primer paso se procedió a preparar y depurar la base de datos con el propósito de que la información sea confiable y libre de errores para lo cual se realizó un análisis numérico y gráfico. Antes de realizar el ajuste de los modelos de volumen y ahusamiento compatibles se practicó un test de normalidad a las variables involucradas en el ajuste mediante el software StatGraphics. Posteriormente el ajuste, validación y calibración de los modelos se llevó a cabo con el software SYSTAT 9.0.

La evaluación de los modelos en cuanto a su capacidad predictiva de volumen, diámetros y alturas se llevó a cabo mediante los estadísticos de exactitud y sesgo, los cuales son: Raíz del error medio cuadrático (REMC) y la diferencia agregada (DIFA), aceptándose un máximo de 10% y 5% para el error y sesgo, respectivamente. Para evaluar la capacidad predictiva de los modelos en la predicción de diámetros y alturas a lo largo del fuste, este se dividió en porciones definidas por intervalos del 10% de la altura total siguiendo la metodología propuesta por Cao *et al.* (1980).

Como un análisis general se puede decir que los modelos de volumen y ahusamiento compatibles en ambas zonas de crecimiento no cumplieron con los requisitos de error y sesgo permitidos, entregando estimaciones de volumen total deficientes. El mejor comportamiento de los modelos de volumen fue logrado en la zona de crecimiento 1, siendo el modelo 2 el más destacado.

En la zona de crecimiento 1 los modelos predictores de diámetros sólo en algunas secciones del fuste cumplieron con los requisitos de error y sesgo permitidos, haciendo difícil su utilización en secciones continuas ya sea en la parte basal, central o en la parte superior del árbol. Para la zona de crecimiento 2 solo el modelo 2 cumple con los requisitos de error y sesgo, pero sólo hasta el 20% de la altura.

En la predicción de alturas para la zona de crecimiento 1 ambos modelos cumplieron con los requisitos de error y sesgo sólo en algunos intervalos de altura, por lo tanto, su utilización es poco recomendable, ya que esto no se produce en forma continua. En la zona de crecimiento 2 solo el modelo 2 presenta valores de error y sesgo aceptados pero solo hasta el 20% de la altura, lo cual hace posible su utilización sólo en esta parte del fuste.

Para la zona de crecimiento 3 los modelos de volumen no cumplieron con los rangos de error y sesgo permitidos, por lo cual, su estimación del volumen total es considerada de baja calidad, especialmente para los modelos provenientes del ajuste de la zona de crecimiento 2

En la zona 3 el mejor desempeño en la estimación de diámetros a lo largo del fuste lo presentaron los modelos pertenecientes al ajuste realizado en la zona 1, siendo el modelo 2 el que presentó las mejores estimaciones. De los modelos pertenecientes a la zona 2 sólo el modelo 2 presenta valores de error y sesgo permitidos, aunque sólo en la parte basal del árbol.

Pese a que los modelos pertenecientes a la zona 1 ocuparon los primeros lugares en el ranking, sólo en el 50% de la altura un modelo cumplió con los requisitos de error y sesgo, el cual corresponde al modelo 2, considerándose un pobre desempeño de estos modelos en la predicción de alturas para la zona de crecimiento 3. De los modelos pertenecientes a la zona 2, solo el modelo 2 presentó valores de error y sesgo aceptados, pero solo hasta el 20% de la altura.

Palabras clave: Tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, Roble, Compatibilidad de modelos de volumen y ahusamiento.

Compatibility of volume functions and taper to second growth Roble in the 10th Region

Abstract

The objective of this study consisted of the fitting and validation of taper and volume model compatibles with second growth Roble in the 10th region. The information used in this process was based on measurements and data collection of the project FONDEF D9I1065: "Activity's planning software for second growth Roble-Raúl-Coigüe in the 10th region".

We got information from growth zones 3, which were defined according to climate, soil and vegetation in the 10th region. So, zones 1 and 2 were used in the process of adjustment and validation. And in zone 3, a calibration had previously been adjusted in the growth zones 1 and 2.

First of all, a numerical and graphic analysis was carried out in order to get reliable information and avoid mistake. A normality test was applied to the variables of fitting by means of the software STATGRAPHIC. This test was applied before starting the fitting of the compatible taper and volume model. Later, the adjustment, validation and calibration of the model were carried out with the software SYSTAT 9.0.

Accuracy statistician and bias, such as mean square error root and gathered difference performed the evaluation of models according to its predicted capacity of volume, diameter and height. 10 % and 5% of error and bias were accepted to evaluate the predicted capacity of the taper and volume models in the prediction of diameter and height throughout the stem. The last one was divided into defined portions by intervals of 10% of height, according to the approach suggested by Cao *et al* (1980).

In general, the taper and volume models compatible with both zones did not fulfill the requirements of error and bias. Giving a completely deficient estimated volume. However, the best behavior volume models were achieved in growth zone 1. Model 2 obtained the highest achievement.

In growth zone 1, the predicted diameter models just fulfilled the requirements of error and bias in some sections. In growth zone 2, model 2 fulfilled with the requirements of error and bias, only with 20% of height.

Within the prediction of height in growth zone 1, both models fulfilled the requirements of error and bias in some intervals of height. Therefore, the use of it isn't faithful because it is not constant. In growth zone 2, model 2 displays estimation error and bias accepted in a 20% of height. It means the usage is possible in this part of the stem.

In growth zone 3, the volume models did not fulfill with the permitted ranges of error and bias; therefore, the total volume estimation is not of a high quality. Especially, those models that come from the fitting of growth zone 2.

In zone 3, the best achievement in the estimation of diameter along the stem was accomplished by the models, which belonged to the adjustment carried out in zone 3. Model 2 reached the highest achievement. The models that belonged to zone 2, model 2 just let us see values of error and bias, but only in the basal part of the tree.

Even though, the models that belonged to zone 1 achieved the best position, just 50% of the height of a model fulfilled the requirements of error and bias. The last one belonged to model 2, but a low achievement was reached in the model of predicted height in the growth zone 3. In model belonging to zone 2, model 2 just presented and accepted value of error and bias, but with a 20% of height.

Keywords: Roble-Raulí-Coigüe second growth forest, Roble, Compatibility of taper and volume models.

1. INTRODUCCIÓN

Posiblemente uno de los elementos más importantes en la evaluación de recursos forestales es la determinación del volumen existente dentro de un rodal. Debido a la gran dificultad que existe en su medición directa, este se estima en forma indirecta utilizando expresiones matemáticas donde las más comunes son las funciones de volumen y ahusamiento. Además constantemente se están generando nuevas funciones, utilizando nuevas metodologías con el propósito de estimar el volumen total y comercial para los distintos productos que se ofrecen actualmente en el mercado.

Generalmente en el sector forestal chileno los estudios destinados a generar herramientas para la estimación del volumen total y comercial han sido enfocados principalmente a las especies exóticas de mayor interés económico como lo son *Pinus radiata* y *Eucalyptus* sp., por ser estas especies las principales abastecedoras de materia prima en la industria forestal.

Debido a la inestabilidad que presenta el mercado internacional existe la necesidad de diversificar los productos ofrecidos en el mercado. Así una alternativa de diversificación lo constituyen las especies nativas y más precisamente sus renovales, para ello se debe poseer herramientas que permitan obtener una adecuada predicción del volumen total y el volumen hasta distintos índices de utilización. La superficie de renovales del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, alcanza un total de 540.000 ha en las regiones VIII, IX y X. Lo que constituye una importante masa forestal productiva.

Dentro del marco del proyecto FONDEF D9711065 se obtuvo una gran cantidad de información para caracterizar los renovales de Roble-Raulí-Coigüe en las regiones VIII, IX y X hasta Llanquihue, sin embargo, este estudio en particular sólo abarca la información perteneciente a la Décima Región de Los Lagos.

El objetivo general de este estudio es generar funciones de volumen y ahusamiento compatibles para renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*) en la Décima Región, como una herramienta para la estimación del volumen contenido en estas especie nativa de alto valor económico. Como objetivos específicos se tiene:

- Preparar y depurar la base de datos.
- Ajustar y validar funciones de volumen y ahusamiento compatibles para Roble, según zona de crecimiento.
- Evaluar las funciones compatibles en términos cuantitativos y cualitativos con una base externa a la base de ajuste.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción de funciones de volumen y ahusamiento

2.1.1 Funciones de volumen

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 arboles sobre la base de mediciones simples (Prodan *et al.*, 1997).

La forma más precisa de calcular el volumen de un árbol es mediante su cubicación individual, pero su lentitud y alto costo en que se incurre la hacen impracticable, siendo necesario utilizar la medición indirecta, esta consiste en estimar el volumen a partir de variables de fácil medición. El método más utilizado para la estimación de masas forestales han sido las funciones de volumen, las cuales estiman el volumen del fuste a partir del diámetro y la altura del árbol (Cailliez, 1980). Estas funciones se obtienen por regresión, usando una muestra de árboles en los que se miden las variables predictoras para generar volumen mediante cubicación. Posteriormente, una vez obtenidos los parámetros de la función, el volumen se puede estimar conociendo el valor de las variables predictoras.

Las funciones de volumen se clasifican en locales y generales, las primeras son obtenidas para ser aplicadas en un área geográfica limitada y sólo incorporan el diámetro a la altura del pecho (DAP), a diferencia de las generales que expresan el volumen en término de dos o más variables independientes, incorporando el DAP y alguna medición de altura, estas últimas funciones son de aplicación en áreas mayores debido a que incluyen en forma explícita la relación diámetro-altura en el modelo (Prodan *et al.*, 1997).

En el cuadro 1 se muestran algunas de las funciones de volumen local y general comúnmente utilizadas.

Cuadro 1. Funciones de volumen local y general, donde V= volumen, D=DAP, H= altura y b_i = coeficientes.

Tipo de función	Forma	Autor
Volumen Local	$V= b_0 + b_1D + b_2D^2$	Hohennadl-Krenn, 1939
	$\text{Log}V= b_0 + b_1\text{log}D$	Husch, 1963
	$V= b_1 + b_2D^2$	Dissescu –Meyer, 1968
Volumen General	$V= b_0 + b_1D^2 + b_2D^2H + b_3H$	Näslund, 1950
	$V= b_0 + b_1D^2H$	Spurr, 1952
	$V= D^2 (b_0 + b_1H)$	Ogaya, 1968

Fuente: Loetsch, 1972.

Las ecuaciones para estimar volumen comercial se desarrollan para estándares de utilización específicos y son útiles y válidas mientras estos estándares comerciales no sufran cambios. Sin embargo la evolución de éstos puede ser muy rápida, generalmente en respuesta a condiciones económicas y de mercado local.

Más grave que la situación anterior es el hecho de ajustar en forma independiente ecuaciones hasta distintos índices de utilización, donde generalmente se producen cruzamientos de las estimaciones dentro del rango de datos. De esta forma se producen inconsistencias en las estimaciones resultantes (Cao *et al.*, 1980), produciéndose diferentes valores de un mismo valor comercial para un mismo árbol. La razón de esta inconsistencia es que el conjunto de ecuaciones resultantes se basa en ajustes independientes de ecuaciones de regresión empíricas no necesariamente relacionadas (Bruce *et al.*, 1968).

Para eliminar estos cruzamientos ilógicos de las funciones de volumen para distintos índices de utilización, se han desarrollado las denominadas funciones de volumen de razón, que permiten estimar en forma consistente el volumen hasta cualquier índice 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.

Estas ecuaciones permiten la predicción directa del volumen y son más simples de usar que la funciones de ahusamiento. Como los modelos se ajustan a datos minimizando la suma de cuadrados de volumen, ellos proporcionan estimaciones más precisas de esta variable que las funciones de ahusamiento, que son ajustadas minimizando la suma de cuadrados de los diámetros o los diámetros al cuadrado (Prodan *et al.*, 1997). En forma general se expresan estas ecuaciones como:

$$R_D = V_D / V \quad (1)$$

Donde:

R_D = Razón de volúmenes para un índice de utilización D;

V_D = Volumen hasta un índice de utilización (m^3)

V = Volumen Total (m^3)

Según Vidal (1994) esta técnica permite obtener volúmenes comerciales hasta cualquier índice de utilización con un alto grado de precisión teniendo como referencia el volumen total del árbol simplemente aplicando la relación $V_D = R_D * V$.

2.1.2 funciones de ahusamiento

Las funciones o ecuaciones de ahusamiento son modelos matemáticos que entregan el diámetro sin corteza a cualquier altura del fuste, es decir modelan la forma fustal. Mediante la integración de la función de ahusamiento se puede realizar estimaciones del volumen fustal total, comercial hasta diámetros y alturas límites superiores y

desde cualquier altura del tocón y la estimación de volúmenes de trozas individuales (Kozak, 1988).

Para el desarrollo de funciones de ahusamiento el método más común consiste en ajustar una ecuación a los perfiles de una muestra representativa. Como en muchas otras aplicaciones donde se trabaja con el ajuste de curvas, la elección del modelo matemático apropiado para representar el conjunto de perfiles bajo estudio es de primera importancia (Coffré, 1983).

Se pueden mencionar tres tipos de funciones de ahusamiento. Las más simples corresponden a funciones polinómicas simples de diferentes grados, entre las cuales se hace la diferencia entre las de árbol individual y árbol completo. Las de árbol individual corresponden a funciones donde primero se ajusta una función de ahusamiento para cada árbol en la muestra y luego los parámetros obtenidos son estimados de acuerdo a variables del árbol (Coffré, 1983). Las de árbol completo corresponden a funciones que son ajustadas a la muestra de arboles, obteniéndose sólo una función general que describe la forma de todos los arboles, (Kozak, 1988).

El segundo tipo corresponde a funciones segmentadas, es decir se componen de dos o tres expresiones que se activan o desactivan de acuerdo a la altura en la que se quiere predecir el diámetro (Cao *et al.*, 1980).

El tercer tipo corresponde a funciones de exponente variable, que son ecuaciones en las que se asume que la forma varía constantemente dentro del fuste y representa esta variación a través de una función exponencial en la cual el exponente cambia con la altura del fuste (Kozak, 1988). Las características anteriores las hacen ideales para el procesamiento de inventarios forestales ya que son flexibles en su aplicación y no presentan cruces ilógicos en las estimaciones conjuntas de volúmenes hasta diferentes diámetros límites de utilización comercial (Higuera, 1994).

2.2 Compatibilidad de funciones de volumen y ahusamiento

El concepto de compatibilidad de funciones de volumen y ahusamiento fue desarrollado por Demaerschalk (1972), en el cual una función de ahusamiento incorpora el volumen total calculado por una función de volumen, como una variable independiente. La función de ahusamiento compatible tiene la propiedad de que el volumen total obtenido por la integración de ésta, debe dar exactamente el mismo volumen total estimado por la función de volumen.

De acuerdo a lo anterior, Clutter (1980) sostiene que la exactitud y precisión de estas ecuaciones depende de la precisión y exactitud de las funciones de volumen de la cual son derivadas. Funciones de ahusamiento compatibles han sido utilizadas para la estimación de volúmenes comerciales a distintas alturas límites, y han mostrado una adecuada estimación de los volúmenes (Cao *et al.*, 1980).

Estudios han demostrado que ecuaciones de ahusamiento complejas, tales como las ecuaciones de ahusamiento segmentadas, proporcionan una mejor descripción del perfil fustal que una ecuación de ahusamiento simple (Cao *et al.*, 1980). Otros trabajos han sido desarrollados por Byrne and Reed (1986) y Reed y Green (1984), en los cuales se ha utilizado este tipo de funciones anteriormente mencionadas, para la generación de funciones de ahusamiento compatibles.

Según Demaerschalk (1973) la mayoría de las ecuaciones de volumen comúnmente usadas pueden ser convertidas a funciones de ahusamiento compatible. El mismo autor desarrolló una serie de funciones compatibles, las cuales serán utilizadas en este estudio. Además, desarrolló el término de parámetros indefinidos o también llamados parámetros libres los cuales son escogidos para obtener un mejor ajuste posible para el ahusamiento a través de la minimización del error estándar de la estimación del diámetro sin corteza. Los parámetros libres pueden ser estimados por un procedimiento de mínimos cuadrados (usualmente no lineal) para minimizar el error estándar del diámetro sin corteza.

2.3 Evaluación de los modelos de volumen y ahusamiento compatibles

Después del desarrollo de un modelo de regresión para el que se han evaluado buenas medidas de ajuste, se procede a usarlo en predicciones o estimaciones, control de actividades, o en aprender y concluir sobre los mecanismos que generan los datos. Hay conciencia en los usuarios de modelos que antes que puedan ser utilizados, deben realizarse pruebas y controles sobre su validez y calidad de sus predicciones para así establecer la confianza del modelo empleado.

Aún cuando las medidas de ajuste tales como el coeficiente de determinación R^2 y el error estándar de la estimación S_{yx} son criterios importantes para evaluar el ajuste de una ecuación de regresión, su uso en predicciones hace necesario además utilizar criterios que permiten evaluar la calidad predictiva en todo el rango de las variables independientes.

Cuando se comprueba que un modelo entrega buenas estimaciones dentro del rango observado de las variables independientes (interpolación), generalmente existe la tentación o necesidad de utilizarlo fuera del rango de los datos observados en su construcción (extrapolación), razón por la que examinar las propiedades de extrapolación de los modelos es también un objetivo importante del proceso de validación (Prodan *et al.*, 1997).

Para que la validación sea confiable, la muestra de validación debe cubrir todas las condiciones de edades, sitios y manejos en donde operan el o los modelos. De aquí se derivan dos recomendaciones importantes:

- a) La muestra de validación debe ser grande, con un tamaño mínimo de $n = 100$.

- b) Los árboles que se utilicen en la validación deben proceder de mediciones muestrales realizadas (grupos de árboles) de manera que sea posible analizar la muestra según distintas variables de estado de los rodales.

Para comparar los modelos, deben utilizarse medidas de exactitud y sesgo de las estimaciones. Tres estadísticos para medir exactitud se presentan frecuentemente en la literatura (Cao *et al*, 1980):

- a) Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC)

$$\text{REMC} = (\sum (O_i - E_i)^2 / n)^{0.5} \quad (2)$$

- b) Error medio absoluto (EMA)

$$\text{EMA} = \sum |O_i - E_i| / n \quad (3)$$

La diferencia entre los estadísticos a y b es mínima y será notoria sólo si se presentan en los modelos valores residuales extremos; la expresión cuadrática es sensible a ellos.

Como medida de sesgo se utiliza la media de los residuales, denominada frecuentemente diferencia agregada. Si el modelo es insesgado, se espera que la suma de este sea cercana a cero. Sin embargo, si el modelo resulta sesgado, la suma de los residuales será diferente de cero. La expresión de medida de sesgo es la siguiente:

- c) Diferencia Agregada (DA)

$$\text{DIFA} = \sum (O_i - E_i) / n \quad (4)$$

En las tres fórmulas presentadas O_i es un valor observado, E_i es un valor estimado y n es el número total de observaciones. En el análisis de modelos fustales conviene utilizar las expresiones en unidades de medición como porcentuales, para permitir una evaluación exhaustiva de las estimaciones del modelo en las diferentes porciones del fuste.

En el estadístico usado para la detección del sesgo, los signos negativos están asociados con sobrestimaciones, en tanto que valores positivos de DIFA indican subestimación.

En el caso de las estimaciones de diámetro a lo largo del fuste y la altura en la que se encuentra un diámetro especificado, se recomienda la división del fuste en secciones de igual longitud, para comprobar las características y desempeño del modelo en las diversas porciones del fuste donde provendrán los surtidos productos posibles a obtener.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Material

3.1.1 Base de datos

La información aportada corresponde al proyecto FONDEF D9711065 “Software de planificación de actividades en renovales de Roble-Raulí-Coigüe en la IX y X Regiones”. Para este estudio en particular se trabajó con la información proveniente de la Décima Región, y más específicamente con los datos medidos en el marco de este proyecto, como fuente para el proceso de ajuste, validación y calibración de los modelos de volumen y ahusamiento compatibles.

Cuadro 2. Fuente de información para el estudio

Base	Fuente	Nº de Parcelas
Ajuste	Universidad Austral de Chile (FONDEF D9711065)	60
Validación	Universidad Austral de Chile (FONDEF D9711065)	28

La información registrada en cada una de las parcelas esta contenida en la base de datos (AHUSA.txt) que contiene las variables utilizadas en el estudio (Anexo 2).

En las siguientes figuras se presentan los perfiles para cada árbol de la especie Roble en las zonas de crecimiento 1, 2 y 3; las dos primeras zonas corresponden a las bases utilizadas en el ajuste, mientras que en la tercera se realizó la calibración de los modelos previamente ajustados en las dos primeras zonas.

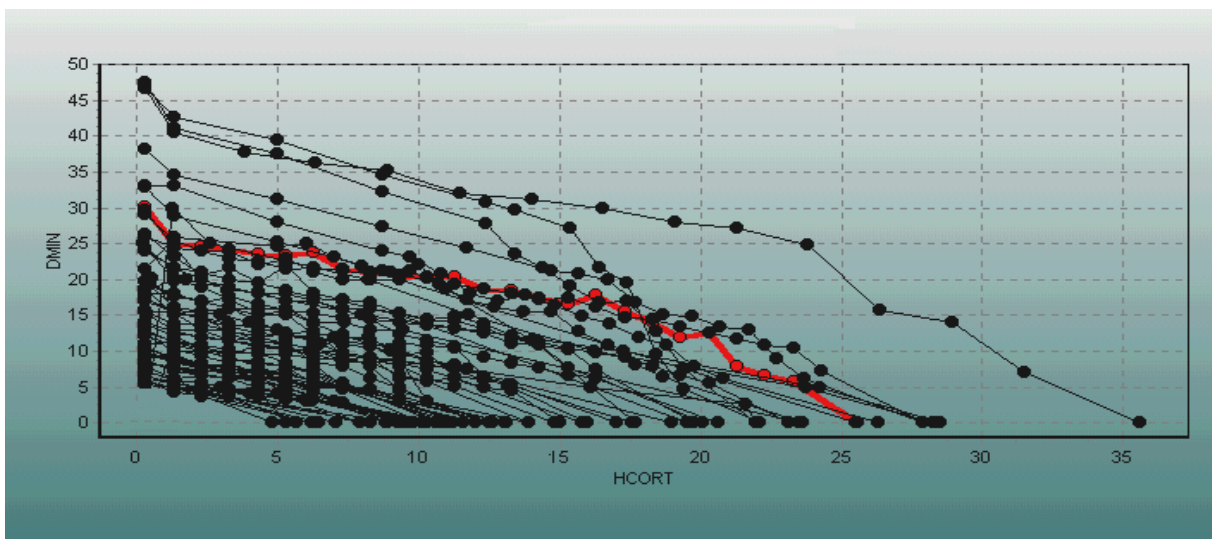


Figura 1. Perfiles para cada árbol utilizado en la base de ajuste (Diámetro relativo (DMIN) vs. Altura de corte (HCORT)) en la zona de crecimiento 1.

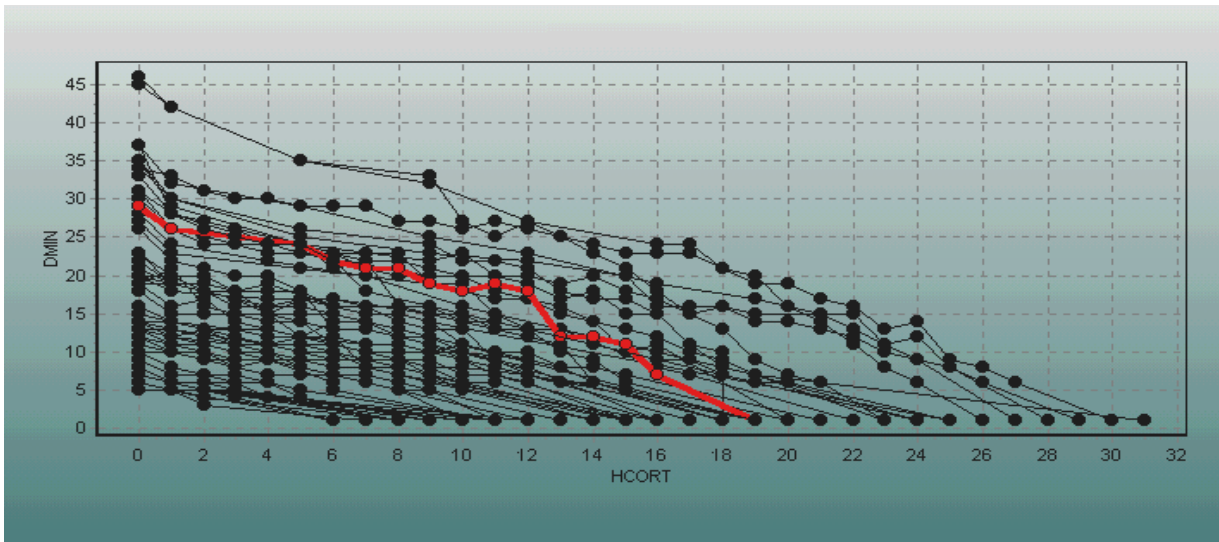


Figura 2. Perfiles para cada árbol utilizado en la base de ajuste (Diámetro relativo (DMIN) vs Altura de corte (HCORT)) en la zona de crecimiento 2

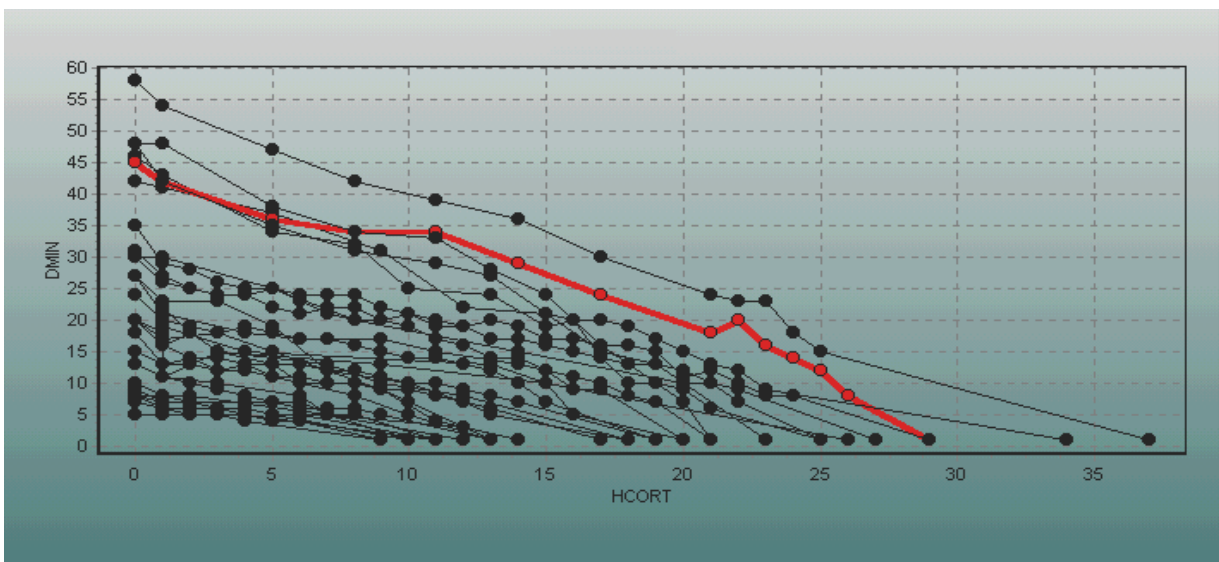


Figura 3. Perfiles para cada árbol utilizado en la calibración (Diámetro relativo (DMIN) vs. Altura de corte (HCORT)) en la zona de crecimiento 3.

La estadística descriptiva para las bases de ajuste y calibración de las tres zonas de crecimiento se presenta en el anexo 3.

3.1.2 Área de estudio

La información contenida en la base de datos pertenece a tres zonas de crecimiento las cuales se describen a continuación (Ver anexo 4).

Zona 1: Ésta ocupa la vertiente occidental de la cordillera de la costa de la VIII Región, el secano interior y la depresión intermedia de la VIII y IX Región y la provincia de Valdivia. Se caracteriza principalmente por abarcar un área de influencia climática marcadamente mediterránea con efecto marítimo, pero con algunos periodos secos extremos. Incluye prácticamente todos los bosques de Raulí y Coigüe del área, localizados principalmente en la Cordillera de Nahuelbuta y además los bosques remanentes de Roble.

Zona 2: Corresponde íntegramente a la Precordillera Andina de la VIII y IX región y de la provincia de Valdivia. Se caracteriza por poseer una mayor precipitación que la zona anterior, con una baja humedad relativa del aire en el periodo estival y un mayor número de heladas. Esta conformado únicamente por rodales de Roble y Coigüe.

Zona 3: ocupa la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa de la IX región y todos los ambientes de al provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue, a excepción de la alta Cordillera andina. Se caracteriza por tener una alta pluviometría y un breve periodo seco (menor a 2 meses). Esta principalmente dominado por Roble y por Coigüe en los ambientes más húmedos.

3.2 Método

3.2.1 Análisis y depuración de datos

Esta actividad se realizó con el propósito que la información colectada sea confiable o libre de errores, los cuales por lo general ocurren en la medición de datos en terreno o en la digitalización de ellos a la base de datos.

Revisión numérica:

- a) Que la altura de corte de la sección superior sea mayor a la inferior
- b) Que cada árbol contenga la información completa de las variables involucradas en el ajuste.

Revisión gráfica:

- a) Diámetro superior con corteza vs. la altura de corte (DSCC vs. HCORT).
Utilizada principalmente para detectar diferencias muy abruptas entre secciones contiguas.

3.2.2 Test de normalidad

Las prueba de normalidad utilizada para comprobar la distribución normal de las variables utilizadas en el ajuste fue la de Kolmogorov-Smirnov. La ventaja de la prueba de Kolmogorov-Smirnov es que no necesita que los datos se encuentren agrupados y es aplicable a muestras de tamaño pequeño (Canavos, 1998).

El test de normalidad se llevó a cabo con el Software StatGraphics, el cual permite comprobar el ajuste entre la distribución de la información proporcionada (Variables) y la distribución seleccionada, en este caso la distribución normal (Ver anexo 5).

3.2.3 Ajuste de funciones de ahusamiento compatibles

Las siguientes funciones propuestas de aquí en adelante fueron desarrolladas por Demaerschalk (1973).

a) La ecuación de Honer (1965) es convertida a una ecuación de ahusamiento compatible:

$$M1: V = D^2 / (a + b/H) \quad (7)$$

$$M1^*: (d/D)^2 = b_0 (h^{b_1} / (b_2 H^{b_1+1} + b_3 H^{b_1})) \quad (8)$$

Donde:

$V =$ Volumen total	$D =$ DAP	$d =$ Diámetro relativo	$HT =$ Altura total
$b_0 = (p+1) / 0,785$	$b_1 = p$		
$b_2 = a$	$b_3 = b$		

Donde: b_0, b_1, \dots, b_3 parámetros del modelo

b) Ecuación de volumen sobre el area basal en función de la altura

$$M2: V = G b HT \quad (9)$$

$$M2^*: (d/D) = b_0 (h/HT)^{b_1} \quad (10)$$

Donde:

$V =$ volumen total	$D =$ DAP	$d =$ Diámetro relativo
$HT =$ Altura total	$h =$ Altura de corte	$G =$ Área basal
$b_0 = (p+1) b$	$b_1 = p$	

Donde: b_0 y b_1 parámetros del modelo

La capacidad predictiva de las ecuaciones de volumen total será analizada a través de los estadísticos de exactitud y sesgo con un sistema de asignación de puntaje, escogiendo como el mejor modelo al que presente el mayor puntaje.

Para evaluar la capacidad predictiva de los modelos en cuanto a la predicción de diámetros y alturas, este se dividió en porciones definidas por intervalos del 10% de la altura total (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% y 90%). Para el análisis de la capacidad predictiva se seguirá la metodología propuesta por Cao *et al.* (1980).

En la metodología propuesta por Cao *et al.* (1980) a cada modelo se le asignó un puntaje según su comportamiento en la predicción de los diámetros o alturas a lo largo del fuste. En cada intervalo de altura relativa se aplicaron los estadísticos de exactitud y sesgo para cada uno de los modelos, asignándole un puntaje mayor al estadístico que presente un valor más cercano a cero, por lo tanto el modelo que presente el mayor puntaje será el que presente la mejor predicción.

3.2.5 Calibración de modelos de volumen y ahusamiento compatibles en la zona 3

La calibración de modelos de volumen y ahusamiento compatibles en la zona de crecimiento 3 fue realizada con los modelos provenientes del ajuste realizado en las zonas de crecimiento 1 y 2, la cual consiste en utilizar estos modelos con parámetros conocidos para estimar el volumen total, alturas y diámetros a distintas alturas relativas en una base de datos que contiene árboles con características de crecimiento distintas a las cuales fueron ajustados los modelos.

La metodología utilizada para evaluar los modelos ajustados en las zonas de crecimiento 1 y 2 en cuanto al comportamiento en las estimaciones de volumen total, diámetros y alturas para la zona de crecimiento 3 corresponde a la misma que se utilizó para evaluar los modelos en sus zonas respectivas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros y estadísticos de bondad de predicción obtenidos en el ajuste de los modelos compatibles

En el cuadro 3 se entregan los parámetros obtenidos en el ajuste de los modelos de volumen y ahusamiento compatibles para la especie Roble en las zonas de crecimiento 1 y 2.

Cuadro 3. Parámetros obtenidos en el ajuste de los modelos compatibles para *Nothofagus obliqua*

Zona	Zona 1			Zona 2		
Parámetros	a	b	p	a	b	p
Modelo						
M1	0,006	2,413		0,039	2,943	
M1*			1,310			1,667
M2		0,493			0,324	
M2*			1,421			2,351

*Modelo de ahusamiento compatible derivado respecto al modelo de volumen

El cuadro 4 presenta los estadísticos de bondad de ajuste para cada uno de los modelos según zona de crecimiento, en la zona 1 se puede apreciar que ambos modelos de volumen presentan idénticos estadísticos, produciéndose un empate en cuanto al puntaje asignado en el ranking, por lo cual se espera que ambos modelos presenten similares estimaciones. En la misma zona de crecimiento pero con respecto a los modelos de ahusamiento ajustados M1* y M2* respectivamente, estos presentan valores similares, sin embargo, el modelo 2 presenta una pequeña diferencia a su favor, por esta razón se elige como el mejor modelo predictor.

Cuadro 4. Estadísticos de bondad de ajuste para modelos de volumen y ahusamiento compatibles.

Zona	Zona 1				Zona 2			
Modelo	R ²	S _{yx}	Suma	Ranking	R ²	S _{yx}	Suma	Ranking
M1	0,981	0,076	4	1	0,595	0,216	4	1
M2	0,981	0,076	4	1	0,595	0,216	4	1
M1*	0,887	0,127	2	2	0,887	0,123	4	1
M2*	0,896	0,121	4	1	0,676	0,208	2	2

*Modelos de ahusamiento compatibles

Para la zona 2 en cuanto a los estadísticos de bondad de ajuste de los modelos de volumen, al igual que en la zona 1, estos presentan valores iguales, no existiendo superioridad uno del otro. Para los modelos de ahusamiento en este caso es el modelo 1 (M1*), el que se destaca como el más apropiado, por presentar un mayor coeficiente de determinación (R²) y un menor error estándar (S_{yx}). Cabe destacar que los estadísticos de bondad de ajuste para los modelos de volumen son superiores en la zona 1, respecto a la zona 2, por lo cual se espera una mejor predicción del volumen en la primera zona de crecimiento.

4.2 Estimación del volumen total en las zonas de crecimiento 1 y 2

El cuadro 5 presenta los estadísticos de bondad de predicción para ambos modelos de volumen y zonas de crecimiento. En la zona 1 se aprecia que ambos modelos presentan sesgos negativos, lo cual indica una sobreestimación del volumen total. En cuanto al error de la estimación, ambos modelos presentan valores sobre el 14%, lo cual es un tanto alto, ya que normalmente se espera tener errores no mayores a un 10% y no mayores a un 5% para el sesgo. Para la zona 2 el modelo 1 ha sido elegido

Cuadro 5. Estadísticos de bondad de predicción para la estimación del volumen

Zona	Zona 1				Zona 2			
Modelo	DIFA (%)	REMC (%)	Suma	Ranking	DIFA (%)	REMC (%)	Suma	Ranking
M1	-12,670	14,880	4	1	17,570	23,660	4	1
M2	-12,920	15,330	2	2	19,250	23,440	2	2

como el mejor modelo estimador de volumen total, aunque presenta errores superiores al 23%, además presenta un sesgo sobre el 17% con valor positivo, indicando una subestimación del volumen total. Higuera (1994) realizó el ajuste y validación de seis funciones de volumen para roble, siendo el modelo de Näslund el más destacado con un sesgo que varió entre el -5,7 y 2,3% y un error entre el 6,4 y 14%. Como un análisis general se puede decir que los modelos de volumen total en ambas zonas de crecimiento no cumplieron con los requisitos de error y sesgo permitidos, entregando estimaciones de volumen total deficientes.

4.3 Estimación de diámetros a distintas alturas

4.3.1 Estimación de diámetros a distintas alturas en la zona de crecimiento 1

Cuadro 6. Estadísticos de bondad de predicción para la estimación de diámetros a distintas alturas a lo largo del fuste para la Zona 1

Altura Relativa (%)	Modelo	DIFA (%)	REMC (%)	SUMA	RANKING
0-10	M1	-2,652	5,538	4	1
	M2	-4,915	6,817	2	2
10-20	M1	-11,166	12,238	4	1
	M2	-12,305	12,772	2	2
20-30	M1	-8,873	9,952	4	1
	M2	-9,592	10,724	2	2
30-40	M1	-8,527	9,481	3	1
	M2	-8,497	9,574	3	2
40-50	M1	-4,790	7,252	2	2
	M2	-3,805	6,671	4	1
50-60	M1	-7,234	9,429	2	2
	M2	-4,959	7,889	4	1
60-70	M1	-3,317	6,225	2	2
	M2	0,125	5,631	4	1
70-80	M1	-7,368	13,062	2	2
	M2	-2,043	10,957	4	1
80-90	M1	-16,032	16,249	2	2
	M2	-7,780	8,335	4	1

El cuadro 6 presenta el comportamiento y habilidad de ambos modelos en cuanto a la predicción de diámetros a lo largo del fuste, separado en intervalos iguales de altura relativa respecto a la altura total del árbol. Se puede apreciar que entre el 0 y 40% de la altura total, el modelo 1 es elegido como el mejor, según el ranking aplicado, sobre el 40% es el modelo 2 el que presenta una mejor estimación de los diámetros por lo cual pasa a tomar el primer lugar en el ranking.

La figura 4 muestra gráficamente el comportamiento de ambos modelos. En que se puede observar que estos presentan curvas de forma similar y una sobreestimación del diámetro casi en la totalidad del fuste, excepto en el 80% de la altura, donde el modelo 2 (S/INTERCEPTO) presenta una leve subestimación de 0,125%. Se aprecia que hasta el 30% de la altura el modelo 1 (HONER) presenta estimaciones levemente superiores a la del modelo 2, cuya tendencia cambia en el 40% de la altura, en el cual el modelo 2 (S/INTERCEPTO) presenta una leve superioridad, la que se mantiene hasta el 90% de la altura, siendo más evidente sobre el 80% de la altura.

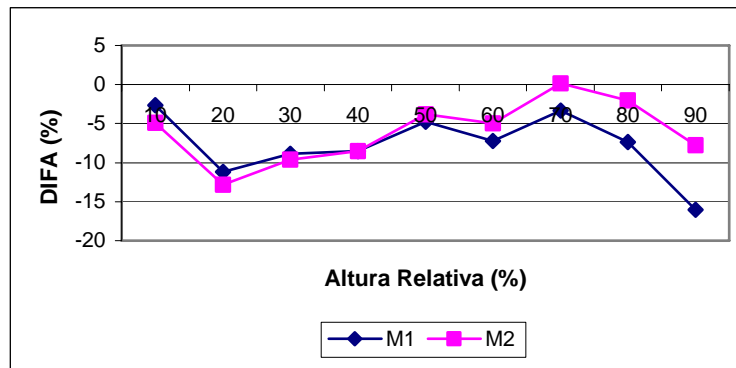


Figura 4. Sesgo en la estimación de diámetros a distintas alturas a lo largo del fuste

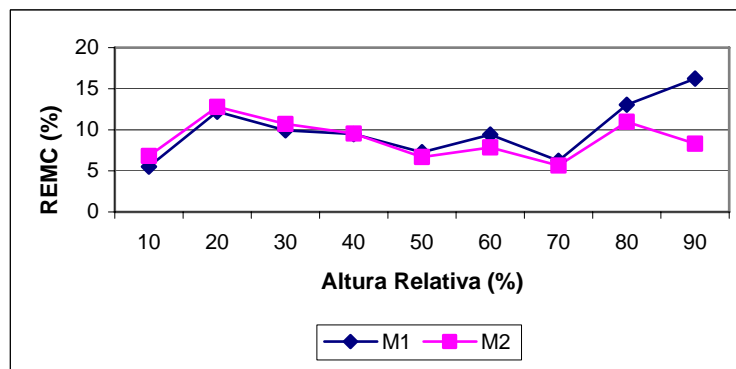


Figura 5. Error en la estimación de diámetros a distintas alturas a lo largo del fuste.

La figura 5 presenta el error en la estimación de diámetros a lo largo del fuste. En que se observa que la tendencia del error es similar para ambos modelos y al igual que en el sesgo es el modelo 1 el que presenta las mejores estimaciones hasta el 30% de la altura, presentando un valor levemente superior al 10% de error en el 20% de la altura. Sobre el 40% hasta el 70% de la altura ambos modelos presentan errores bajo el 10%, siendo el modelo 2 el que presenta las mejores estimaciones,

tendencia que se mantiene hasta el 90% de la altura, en la cual el modelo 2 nuevamente presenta un error bajo el 10%. Se puede apreciar al analizar el sesgo y error en forma conjunta que ambos modelos solo en algunas secciones del fuste cumplen con los requisitos de error y sesgo permitidos que corresponden al 10%, 50%, 70% y 80% de la altura, haciendo difícil su utilización en secciones continuas ya sea en la parte basal, central o en la parte superior del árbol.

4.3.2 Estimación de diámetros a distintas alturas en la zona de crecimiento 2

El cuadro 7 presenta los estadísticos de bondad de predicción en la estimación de diámetros a lo largo del fuste y el lugar obtenido en el ranking, según el puntaje asignado. Se puede apreciar que el modelo 2 presenta las mejores estimaciones entre los intervalos 0-10% y 10-20% de altura, obteniendo el primer lugar en el ranking, además con valores menores al 6% y 1% de error y sesgo respectivamente. Sobre el 20% de la altura el modelo 1 ocupa el primer lugar en el ranking, presentando gran diferencia en el valor de los estadísticos de error y sesgo sobretodo en los intervalos superiores respecto al modelo 2.

Cuadro 7. Estadísticos de bondad de predicción en la estimación de diámetros a distintas alturas a lo largo del fuste para la zona 2

Altura Relativa (%)	Modelo	DIFA (%)	REMC (%)	SUMA	RANKING
0-10	M1	9,629	12,115	2	2
	M2	0,741	5,367	4	1
10-20	M1	5,693	7,599	2	2
	M2	0,816	4,921	4	1
20-30	M1	7,139	8,769	4	1
	M2	7,540	8,900	2	2
30-40	M1	10,451	11,870	4	1
	M2	14,951	15,826	2	2
40-50	M1	11,582	13,959	4	1
	M2	21,450	22,979	2	2
50-60	M1	13,888	17,238	4	1
	M2	29,115	31,108	2	2
60-70	M1	11,174	17,899	4	1
	M2	36,387	37,493	2	2
70-80	M1	2,430	17,761	4	1
	M2	34,668	37,604	2	2
80-90	M1	-3,075	21,947	4	1
	M2	39,110	40,031	2	2

La figura 6 muestra gráficamente el comportamiento de ambos modelos en la estimación de diámetros a lo largo del fuste, los cuales hasta el 30% de la altura presentan valores de sesgo inferiores al 10%, siendo el modelo 2 (S/INTERCEPTO) el que hasta el 20% de la altura, presenta sesgos dentro de lo permitido y levemente superiores a un 5% de sesgo en el 30% de la altura. Sobre el 30% de la altura el modelo 2 aumenta progresivamente su sesgo, llegando a valores cercanos o iguales al 40% de sesgo sobre el 70% de la altura, presentando una fuerte subestimación de los diámetros, mientras que el modelo 1 mantiene una tendencia regular hasta el 70% de la altura con valores de sesgo levemente superiores al 10%, cayendo a un 2,43% de sesgo en el 80% de la altura y sobreestimando con un -3,075% de sesgo en el 90% de la altura.

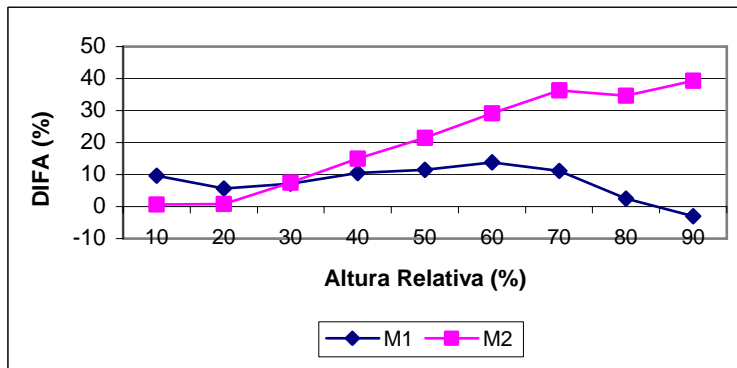


Figura 6. Sesgo en la estimación de diámetros a distintas alturas a lo largo del fuste (Zona 2)

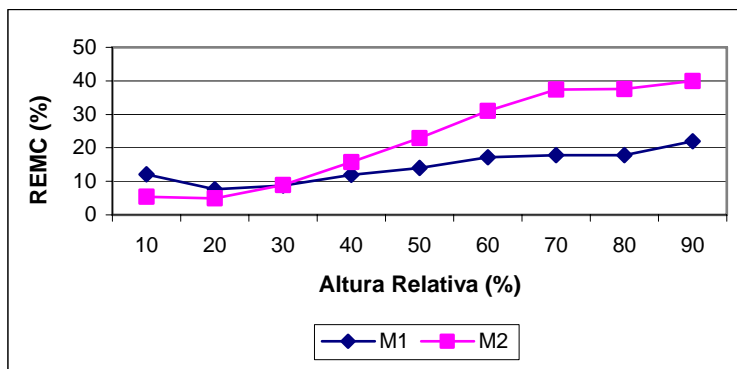


Figura 7. Error en la estimación de diámetros a distintas alturas a lo largo del fuste (Zona 2)

La figura 7 presenta el error en la estimación de diámetros a distintas alturas. Se aprecia que el modelo 1 (HONER) presenta una tendencia regular a lo largo del fuste, pero solo entre el 20 y 30% de la altura presenta valores menores al 10% de error, ya que sobre el 40% de la altura presenta valores de error superiores al 10%, acentuándose el error en la estimación en la porción superior del árbol, llegando a valores cercanos o iguales al 20% de error. El modelo 2 presenta una tendencia similar a la del sesgo presentando valores bajos de error hasta el 30% de la altura y luego incrementa marcadamente su error al aumentar la altura, llegando a valores cercanos o iguales al 40% de error sobre el 70% de la altura. Se observa que solo el modelo 2 cumple con los requisitos de error y sesgo, pero solo hasta el 20% de la altura, ya que luego incrementa fuertemente sus valores de error y sesgo, sin embargo es factible su utilización en esta parte del fuste para la estimación de diámetros en la parte basal. Funciones de ahusamiento ajustadas por Higuera (1994) obtuvieron un buen desempeño en la estimación de diámetros para roble, siendo el modelo de Coffré (1983) el más destacado, presentando sesgos entre -2 y 4% y errores entre 3 y 11% a lo largo de todo el fuste.

4.4 Estimación de alturas para distintos diámetros

4.4.1 Estimación de alturas a distintos diámetros en la zona de crecimiento 1

El cuadro 8 presenta los estadísticos de bondad de predicción en la estimación de alturas para diferentes diámetros, se puede apreciar que entre el 0 y 30% de la altura el modelo1 ocupa el primer lugar en el ranking, no presentando mucha diferencia en los valores de estadísticos de error y sesgo con el modelo 2. Sobre el 30% de la altura el modelo 2 es el que presenta las mejores estimaciones ubicándose en el primer lugar en el ranking.

Cuadro 8. Estadísticos de bondad de predicción en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste en la Zona 1

Altura Relativa (%)	Modelo	DIFA (%)	REMC (%)	SUMA	RANKING
0-10	M1	1,620	6,588	4	1
	M2	4,516	7,129	2	2
10-20	M1	12,585	13,417	4	1
	M2	13,796	14,678	2	2
20-30	M1	12,649	15,123	4	1
	M2	12,586	15,252	2	2
30-40	M1	10,858	13,835	2	2
	M2	9,321	12,949	4	1
40-50	M1	12,790	14,559	2	2
	M2	9,375	11,638	4	1
50-60	M1	6,450	10,924	2	2
	M2	0,709	9,025	4	1
60-70	M1	13,897	17,957	2	2
	M2	6,397	12,793	4	1
70-80	M1	9,950	17,100	2	2
	M2	2,600	12,920	4	1
80-90	M1	19,880	20,300	2	2
	M2	9,820	10,540	4	1

La figura 8 presenta el sesgo en la estimación de alturas para diferentes diámetros en el fuste, se observa que ambos modelos presentan una tendencia similar en cuanto a la forma de sus curvas, subestimando las alturas a lo largo de todo el fuste. Ambos modelos presentan sesgos menores al 5% hasta el 10% de la altura, sobre esta altura aumentan sus valores de sesgo siendo mayores a un 10% hasta el 30% de la altura. En el 40% de la altura el modelo 2 (S/INTERCEPTO) comienza a disminuir su sesgo con valores menores al 10%, presentando una brusca caída en el 60% de la altura con un 0,709% de sesgo, luego se mantiene con valores menores a un 10% hasta 90% de la altura. El modelo 1 sobre el 10% de la altura solo presenta un valor menor al 10% de sesgo en el 60% de la altura, sobre esta altura presenta valores mayores a un 10% llegando a un 20% de sesgo el 90% de la altura.

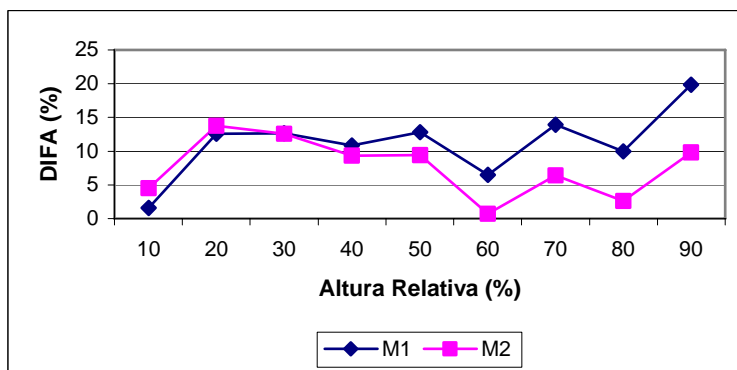


Figura 8. Sesgo en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste

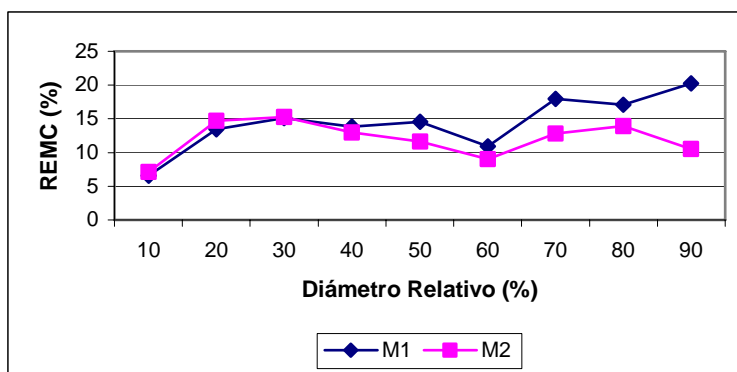


Figura 9. Error en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste (Zona 1)

La figura 9 presenta el error en la estimación de alturas para diferentes diámetros a lo largo del fuste, al igual que lo que sucede con el sesgo ambas funciones presentan curvas de forma similar, presentando errores menores al 10% hasta el 10% de la altura, luego desde el 20% hasta el 60% de la altura presenta errores sobre el 10%, excepto el modelo 2 (S/INTERCEPTO) que presenta un 9% en la ultima en la ultima altura mencionada, luego sobre el 60% de la altura los errores aumentan, especialmente para el modelo 1, con valores de error superiores al 17% sobre el 70% de la altura, en tanto el modelo 2 se mantiene con valores cercanos a un 15% de error bajando a un 10,54% en el 90% de la altura. Al analizar conjuntamente el error y el sesgo se puede apreciar que ambos modelos no cumplen con los requisitos de error y sesgo en gran parte del fuste, el modelo 2 los cumple en el 10% y 60% de la altura, mientras que el modelo 1 solo lo hace en el 10% de la altura, por lo tanto, la utilización de estos modelos es poco recomendable, ya que cumplen con los requisitos en puntos aislados en el fuste y no en forma continua, lo cual no permite abarcar secciones mas extensas.

4.4.2 Estimación de alturas a distintos diámetros en la zona de crecimiento 2

El cuadro 9 presenta los estadísticos de predicción para la estimación de alturas a lo largo del fuste, se puede observar que entre los intervalos 0-10% y 20-30% de la altura, es el modelo 2 el que ocupa el primer lugar presentando sesgos menores a un 6% y errores menores al 10%, lo cual se traduce en estimaciones más confiables en esta sección del fuste, sobre el 30% de la altura, el modelo 1 pasa a ocupar el primer lugar pero con errores sobre el 19%, llegando a errores sobre un 25% en el último intervalo, lo cual ya muestra una tendencia general de ambos modelos en cuanto producir estimaciones de baja calidad en el extremo superior del fuste.

Cuadro 9. Estadísticos de bondad de predicción en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste en la Zona 2

Diámetro Relativo (%)	Modelo	DIFA (%)	REMC (%)	SUMA	RANKING
0-10	M1	-19,035	21,517	2	2
	M2	-2,299	5,273	4	1
10-20	M1	-8,471	9,377	2	2
	M2	1,104	4,972	4	1
20-30	M1	-10,349	12,360	2	2
	M2	-5,151	8,299	4	1
30-40	M1	-15,431	19,132	4	1
	M2	-16,644	19,310	2	2
40-50	M1	-15,900	19,520	4	1
	M2	-21,790	23,290	2	2
50-60	M1	-19,417	21,440	4	1
	M2	30,103	32,123	2	2
60-70	M1	-15,590	23,212	4	1
	M2	-38,554	40,114	2	2
70-80	M1	-5,070	20,862	4	1
	M2	-39,780	40,283	2	2
80-90	M1	3,312	27,023	4	1
	M2	-39,881	40,333	2	2

La figura 10 presenta el sesgo en la estimación de alturas a lo largo del fuste, como ya se dijo en el cuadro anterior el modelo 2 presenta estimaciones de mejor calidad hasta el 30% de la altura, subestimando levemente en el 20% de la altura con un sesgo de 1,4% y sobrestimando en el 10 y 30% de la altura, con un -2% y -6% de sesgo respectivamente, sobre el 30% de la altura este modelo comienza a aumentar significativamente el sesgo especialmente sobre el 70% de la altura con valores cercanos o igual a un 40%. El modelo 1 (HONER) sobrestima las alturas casi a lo largo de todo el fuste, con valores de sesgo generalmente superiores al 10%, sobre el 70% de la altura comienza a disminuir el sesgo, llegando a un -5,07% en el 80% de la altura y subestimando en el 90% de la altura con un 3,3% de sesgo indicando una buena estimación de las alturas en esta parte del fuste.

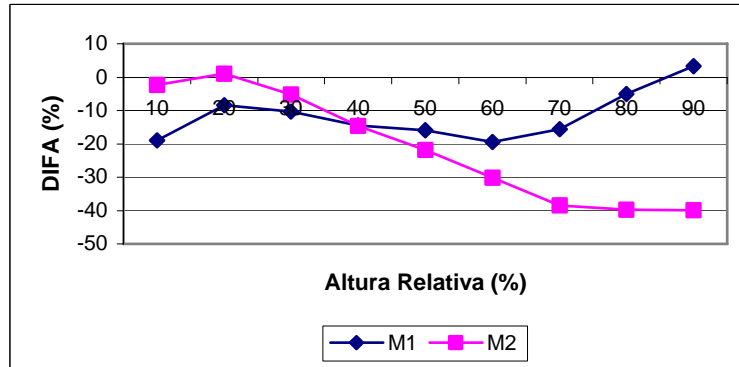


Figura 10. Error en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste (Zona 2)

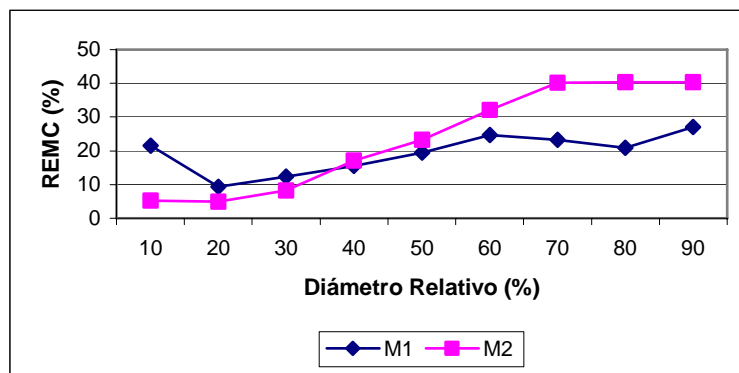


Figura 11. Error en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste (Zona 2)

En la figura 11 se presentan los errores en la estimación de alturas para diferentes diámetros a lo largo del fuste, se puede apreciar que el modelo 2 (S/INTERCEPTO), presenta valores de error menores al 10% hasta el 30% de la altura y menores al 6% bajo el 20% de la altura, luego sobre el 30% de la altura al igual que lo que sucedió con el sesgo, el modelo comienza a perder precisión en las estimaciones, presentando errores iguales a un 40% sobre el 70% de la altura. El modelo 1 sobre el 30% de la altura presenta estimaciones mejores a las del modelo 2, sin embargo, no son de buena calidad las cuales se mantienen sobre un 20% sobre el 60% de altura, llegando a un 27,023% en el 90% de la altura. Se puede observar que solo el modelo 2 cumple con los valores de error y sesgo aceptados, sin embargo, esto se produce solo hasta el 20% de la altura, lo cual hace posible su utilización solo en esta parte del fuste, ya que luego incrementa sus valores de error y sesgo entregando estimaciones de altura de baja calidad.

4.5 Calibración del volumen total para la zona de crecimiento 3

El cuadro 10 presenta los estadísticos de bondad de predicción para la estimación del volumen en la zona 3, cuyos modelos provienen del ajuste realizado para las zonas 1 y 2, se puede apreciar que los modelos ajustados en la zona 1 presentan las mejores estimaciones del volumen, siendo el modelo 2 el que ocupa el primer lugar y el modelo 1 el segundo lugar con muy poca diferencia en cuanto a los estadísticos de error y sesgo, ambos modelos producen un sobreestimación del volumen con valores de sesgo levemente mayores a un -10% , los cuales están fuera del rango permitido en este estudio, el cual es un 5% . En cuanto al error, el modelo elegido como el mejor presenta un error del $13,42\%$ y el modelo que lo sigue en el ranking un $15,74\%$, cuyos valores también están fuera del rango aceptado que es de un 10% de error.

Cuadro 10. Estadísticos de bondad de predicción para la estimación del volumen en la Zona 3

Modelo	DIFA (%)	REMC (%)	Suma	Ranking
M1Z1	-13,620	15,739	6	2
M2Z1	-11,310	13,420	8	1
M1Z2	2,228	25,167	4	3
M1Z2	2,681	29,429	2	4

En cuanto a los modelos ajustados en la zona 2, ambos modelos presentan valores de sesgo menores al 3% produciendo una baja subestimación del volumen, siendo el modelo 1 (M1Z2) levemente superior en la estimación al segundo modelo que presenta un $2,68\%$ de sesgo ocupando el 4 lugar. En cuanto al error obtenido por ambos modelos estos presentan errores sobre el 25% , razón por la cual fueron desplazados a los últimos lugares en el ranking, ya que se le dio una mayor importancia al error debido a que en la diferencia agregada (DIFA) valores positivos y negativos se anulan al calcular este estadístico, lo cual puede llevar a error en la elección del mejor modelo predictor del volumen. Como comentario general se puede decir que los modelos no cumplieron con los rangos de error y sesgo permitidos, por lo cual, su estimación del volumen total es considerada de baja calidad, especialmente para los modelos provenientes del ajuste de la zona de crecimiento 2.

4.6 Calibración de diámetros a distintas alturas en la zona de crecimiento 3

El cuadro 11 presenta los estadísticos de bondad de predicción para la estimación de diámetros a distintas alturas en la Zona 3, basándose en los modelos ajustados en las zonas 1 y 2. En este cuadro se observa para el intervalo $0-10\%$ de la altura que los modelos provenientes del ajuste de la zona 1 ocupan los primeros lugares, siendo el modelo 1 (M1Z1) el que ocupa el primer lugar con un error inferior al 10% lo que está dentro de los rangos de error aceptado. En este mismo intervalo de altura relativa solamente el modelo 1 perteneciente al ajuste realizado en la zona 2 presenta errores superiores al 10% , aunque con una leve diferencia por lo cual también puede considerarse como competitivo en esta parte del fuste.

En el segundo intervalo de altura relativa se produce un cambio en el ranking y son los modelos ajustados en la zona 2 los que ocupan los primeros lugares, siendo el modelo 2 (M2Z2) el que ocupa el primer lugar con valores de sesgo y error inferiores al 5%, los cuales son levemente superiores para el otro modelo (M1Z2) ajustado en la zona 2. En cuanto a los modelos ajustados en la zona 1 estos presentan valores de sesgo y error levemente superiores al 10% por lo cual se consideran competitivos en la estimación de diámetros en esta porción del fuste.

Cuadro 11. Estadísticos de bondad de predicción en la estimación de diámetros a distintas alturas a lo largo del fuste en la Zona 3

Altura Relativa (%)	Modelo	DIFA (%)	REMC (%)	SUMA	RANKING
0-10	M1Z1	-2,410	9,071	8	1
	M2Z1	-3,546	9,190	6	2
	M1Z2	11,182	14,267	2	4
	M2Z2	2,876	8,324	4	3
10-20	M1Z1	-9,430	9,670	4	3
	M2Z1	9,870	10,110	2	4
	M1Z2	6,082	7,253	6	2
	M2Z2	2,103	4,523	8	1
20-30	M1Z1	-8,440	9,203	6	2
	M2Z1	-8,091	8,828	8	1
	M1Z2	8,667	9,740	4	3
	M2Z2	9,476	10,574	2	4
30-40	M1Z1	-7,653	8,791	6	2
	M2Z1	-6,378	7,546	8	1
	M1Z2	11,033	12,101	4	3
	M2Z2	16,901	17,697	2	4
40-50	M1Z1	-3,724	6,101	6	2
	M2Z1	-1,623	4,823	8	1
	M1Z2	16,255	17,391	4	3
	M2Z2	26,596	27,540	2	4
50-60	M1Z1	-6,308	10,152	6	2
	M2Z1	-2,953	8,792	8	1
	M1Z2	16,292	18,822	4	3
	M2Z2	32,335	34,050	2	4
60-70	M1Z1	-6,701	11,405	6	2
	M2Z1	-1,915	10,609	8	1
	M1Z2	18,806	22,229	4	3
	M2Z2	39,330	39,900	2	4
70-80	M1Z1	-21,540	25,803	4	3
	M2Z1	-13,810	19,451	6	2
	M1Z2	9,613	15,886	8	1
	M2Z2	39,980	40,092	2	4
80-90	M1Z1	-12,613	17,668	6	2
	M2Z1	-2,919	11,105	8	1
	M1Z2	22,855	24,461	4	3
	M2Z2	40,030	40,500	2	4

*MxZ1: Modelo ajustado en la zona 1

**MxZ2: Modelo ajustado en la zona 2

Desde el intervalo 20-30% hasta el intervalo 60-70% de la altura se presenta una superioridad en la estimación de diámetros a distintas alturas en cuanto a la ubicación en el ranking para los modelos provenientes del ajuste en la zona 1, siendo el modelo 2 (M2Z1) el que ocupa el primer lugar y el modelo 1 (M2Z1) el segundo lugar, presentando valores menores a un 10% de sesgo y error hasta el intervalo

50-60% de la altura y levemente superiores a este valor en el intervalo 60-70%. En el intervalo 70-80% es el modelo 1 proveniente del ajuste realizado en la zona 2, el que pasa a ubicarse en el primer lugar con un valor de 9,6% de sesgo y con un 15,88% de error, el modelo que ocupa el segundo lugar corresponde al modelo 2 (M2Z1) pero con valores de superiores al 16% de sesgo y 20% para el error, indicando una estimación deficiente de los diámetros con respecto al sesgo y error aceptado, los dos modelos restantes en este intervalo entregan valores altos de sesgo y error indicando una estimación deficiente en esta parte del fuste. En el intervalo 80-90% el modelo 2 (M2Z2) ocupa el primer lugar con valores de sesgo y error aceptables. En lo que respecta a los modelos pertenecientes al ajuste realizado en la zona 2 estos entregan valores de sesgo y error altos, indicando una estimación de baja calidad en los diámetros en este intervalo, razón por la cual se ubican en los últimos lugares del ranking.

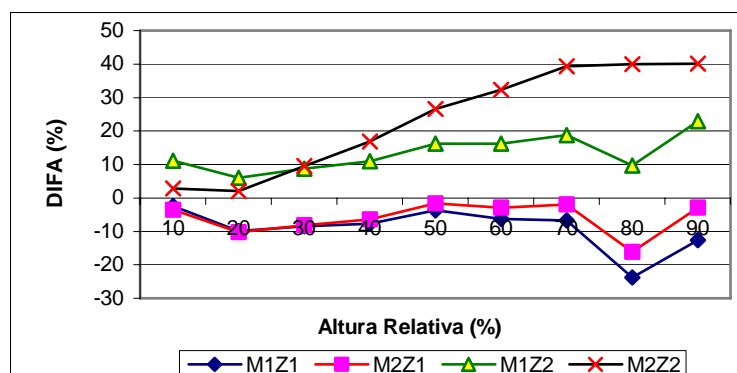


Figura 12. Sesgo en la estimación de diámetros a distintas alturas a lo largo del fuste (Zona 3)

En la figura 12 se presenta el comportamiento en la estimación de diámetros a lo largo del fuste para los modelos ajustados en las zonas de crecimiento 1 y 2, se puede apreciar una diferencia clara entre los modelos ajustados en la zona 1 y 2, en cuanto a que los modelos ajustados en la zona 1 presentan una subestimación de los diámetros a lo largo de todo el fuste, al contrario de lo ajustados en la zona 2, los cuales presentan una sobreestimación de los diámetros a lo largo del fuste. Se puede apreciar en la gráfica que hasta el 30% de la altura tanto los modelos ajustados en la zona 1, como en la zona 2 presentan valores menores a un 10% de sesgo o levemente superior a este valor, luego en el 40% de la altura los modelos ajustados en la zona 2 comienzan a incrementar el sesgo especialmente el modelo 2 (M2Z2) que en este intervalo presenta sesgos sobre el 16% hasta llegar a valores cercanos o iguales al 40% de sesgo sobre el 70% de la altura. Sobre el 40% de la altura los modelos ajustados en la zona 1 presentan valores de sesgo inferiores al 10% hasta el 70% de la altura, luego en el 80% de la altura ambos modelos presentan un aumento significativo en el sesgo, especialmente el modelo 1 (M1Z1) con un valor de -21,54% y el modelo 2 (M2Z1) con un -13,810%, solo el modelo 1 proveniente de la zona 2 posee un valor inferior al 10% de sesgo en esta porción del fuste. En el 90% de la altura el modelo 2 (M2Z1) presenta la mejor estimación de diámetros con una leve sobreestimación del -2,92%, seguido por el modelo 1 de la misma zona de crecimiento con un -12,6%. Siguiendo en este parte del fuste los

modelos provenientes del ajuste de la zona 2 presentan sesgos de gran magnitud especialmente el modelo 2 (M2Z2) con un valor de sesgo de 40,5% indicando una estimación deficiente de los diámetros en esta sección del fuste.

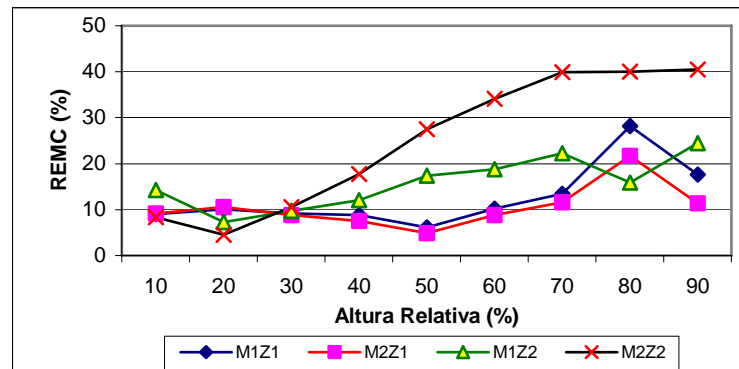


Figura 13. Error en la estimación de diámetros para distintas alturas a lo largo del fuste (Zona 3)

La figura 13 presenta el error en la estimación de diámetros en la zona 3, se observa que la tendencia del error es similar a la presentada por el sesgo, en cuanto a que hasta el 30% de la altura no existen mayores diferencias en la calidad de las estimaciones de diámetro, sin embargo, en el 40% de la altura los modelos provenientes del ajuste de la zona 2 comienzan a incrementar el error, especialmente el modelo 2 (M2Z2) que incrementa significativamente su error al aumentar la altura relativa, llegando a valores iguales o cercanos al 40% de error sobre el 70% de la altura. Los modelos ajustados en la zona 1 presentan errores inferiores o levemente superiores al 10% hasta el 70% de la altura, siendo el modelo 2 (M2Z1) el que generalmente presenta las estimaciones de mejor calidad, seguido muy de cerca por el modelo 1 perteneciente a esta misma zona de ajuste. Al igual que lo sucedido para el sesgo en el 80% de la altura existe un aumento del error para ambos modelos especialmente para el modelo 1 (M1Z1) alcanzando un 28,16% de error, en este intervalo el modelo que presenta la mejor estimación corresponde al modelo 1 (M1Z2) aunque con un valor cercano al 16% de error, lo cual no asegura estimaciones confiables en esta parte del fuste. En el 90% de la altura solamente el modelo 2 (M2Z1) presenta un error aceptable, el cual es levemente superior a un 10%, el otro modelo perteneciente a esta zona de ajuste presenta un valor cercano al 18% de error indicando una baja calidad en la estimación de diámetros en este intervalo. Los modelos 1 y 2 pertenecientes al ajuste de la zona 2 entregan errores de gran magnitud, siendo nuevamente el modelo 2 (M2Z2) el que entrega los valores mas altos, llegando a un 40,5% de error en la estimación de diámetros. El mejor desempeño en la estimación de diámetros a lo largo del fuste lo presentaron los modelos pertenecientes al ajuste realizado en la zona 1, siendo el modelo 2 el que presentó las mejores estimaciones, aunque solo cumple con los requisitos de error y sesgo en el 10%, 50%, 60% y 90% de la altura, debido al irregular comportamiento de estos modelos en general en el modelamiento fustal, no permitiendo su uso continuo en el fuste ya sea en la parte basal, central o parte superior del árbol. De los modelos pertenecientes a la zona 2 solo el modelo 2 (M2Z2) presenta valores de

error y sesgo permitidos, aunque solo hasta el 20% de la altura pudiendo ser utilizado en la estimación de diámetros en la parte basal del árbol.

4.7 Calibración de alturas a distintos diámetros en la zona de crecimiento 3

El cuadro 12 presenta los estadísticos de bondad de predicción en la estimación de alturas para distintos diámetros y su ubicación en el ranking para los modelos ajustados en las zonas 1 y 2. Se puede observar que hasta el 30% de la altura el modelo que ocupa el primer lugar en el ranking corresponde al modelo 2 perteneciente al ajuste realizado en la zona 2, presentando estadísticos de error y sesgo menores a un 10%, los demás modelos se alternan en las posiciones restantes en el ranking, siendo el modelo 2 (M2Z1) en promedio el más competitivo presentando estadísticos de sesgo y error menores o levemente superiores a un 10% ocupando el segundo o tercer lugar en el ranking hasta este porcentaje de la altura.

Cuadro 12. Estadísticos de bondad de predicción en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste en la Zona 3

Altura Relativa (%)	Modelo	DIFA (%)	REMC (%)	SUMA	RANKING
0-10	M1Z1	3,925	12,878	6	2
	M2Z1	5,199	12,052	4	3
	M1Z2	-14,870	18,868	2	4
	M2Z2	-2,070	5,866	8	1
10-20	M1Z1	12,749	13,197	2	4
	M2Z1	12,350	12,775	4	3
	M1Z2	-8,006	9,213	6	2
	M2Z2	-1,607	3,590	8	1
20-30	M1Z1	11,725	12,045	2	4
	M2Z1	10,535	10,834	6	2
	M1Z2	-10,793	11,802	4	3
	M2Z2	-7,650	8,071	8	1
30-40	M1Z1	10,477	11,907	6	2
	M2Z1	8,279	9,817	8	1
	M1Z2	-14,968	16,356	4	3
	M2Z2	-15,937	16,376	2	4
40-50	M1Z1	5,679	8,982	6	2
	M2Z1	2,531	7,114	8	1
	M1Z2	-23,474	24,772	4	3
	M2Z2	-28,376	28,834	2	4
50-60	M1Z1	9,074	15,110	6	2
	M2Z1	4,263	12,329	8	1
	M1Z2	-22,586	25,903	4	3
	M2Z2	-36,669	37,894	2	4
60-70	M1Z1	8,296	17,201	6	2
	M2Z1	1,719	12,427	8	1
	M1Z2	-25,185	31,111	4	3
	M2Z2	-39,250	39,400	2	4
70-80	M1Z1	26,708	30,848	4	3
	M2Z1	18,116	23,787	6	2
	M1Z2	-11,636	20,433	8	1
	M2Z2	-40,050	40,103	2	4
80-90	M1Z1	13,099	17,586	6	2
	M2Z1	0,735	12,327	8	1
	M1Z2	-28,882	31,917	4	3
	M2Z2	-39,250	39,400	2	4

Sobre el 30% hasta el 70% de la altura son los modelos provenientes del ajuste en la Zona 1 los que ocupan los primeros lugares en el ranking siendo el modelo 2 (M2Z1) el que ocupa el primer lugar presentando estadísticos de sesgo y error inferiores o levemente superiores al 10%, en cuanto a los modelos provenientes del ajuste de la Zona 2 es el modelo 1 (M1Z2) el que presenta las mejores estimaciones de altura ocupando el tercer lugar, aunque con estadísticos de sesgo y error de baja calidad. En el intervalo 70-80% se produce un cambio en la ubicación en el ranking siendo el modelo 1 (M1Z2) el que ocupa el primer lugar, desplazando al modelo 2 (M2Z1) al segundo lugar. Cabe destacar que en este intervalo, tanto los modelos provenientes de la zona 1, como los de la zona 2, entregan estimaciones de baja calidad como lo indican los estadísticos de error y sesgo. En el 90% de la altura el modelo 2 (M2Z1) vuelve a ocupar el primer lugar con estadísticos de sesgo y error aceptable a diferencia de los modelos del ajuste en la zona dos los cuales entregan estadísticos de sesgo y error de gran magnitud.

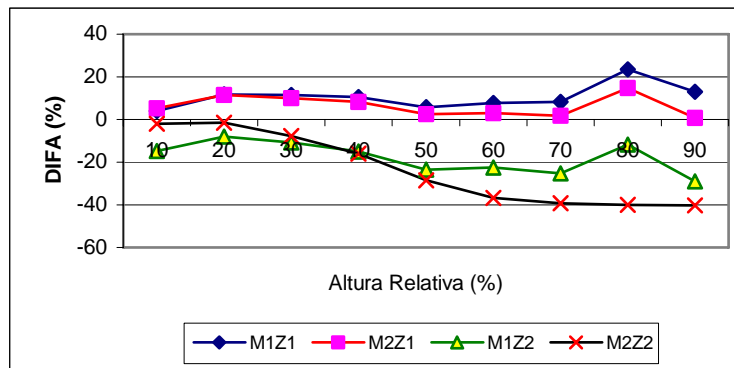


Figura 14. Sesgo en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste (Zona 3)

La figura 14 presenta el comportamiento de los modelos en la estimación de alturas para distintos diámetros con respecto al sesgo, la diferencia más clara que se presenta entre los modelos provenientes del ajuste de las zonas 1 y 2, es que los modelos ajustados en la zona 1 producen un subestimación de las alturas a lo largo de todo el fuste, al contrario de los de la zona 2, los cuales presentan una sobreestimación de las alturas. Se observa que hasta el 30% de la altura es el modelo 2 (M2Z2) el que presenta los menores valores de sesgo siendo inferiores a un -3% hasta el 20% de la altura y de un $-7,65\%$ en el 30% de la altura. Sobre el 30% hasta el 70% de la altura son los modelos ajustados en la zona 1 los que presentan las mejores estimaciones, con valores inferiores o levemente superiores al 10% de sesgo y con muy poca diferencia entre ellos, aunque es el modelo 2 (M2Z2) el que entrega las mejores estimaciones con valores de sesgo menores al 5% desde el 50% hasta el 70% de la altura. Los modelos ajustados en la zona 2 sobre el 30% de la altura comienzan a aumentar el sesgo siendo esta tendencia más marcada para el modelo 2 (M2Z2) el cual sobre el 70% de la altura presenta sobreestimaciones de gran magnitud, llegando a valores de sesgo iguales o cercanos a un 40%. Ambos modelos ajustados en la zona 1 presentan un brusco aumento del sesgo en el 80% de la altura, siendo más marcado para el modelo 1

(M1Z1) con un 26,7%, en el 90% de la altura ambos modelos disminuyen su sesgo especialmente el modelo2 (M2Z1) con un 0,735% de sesgo.

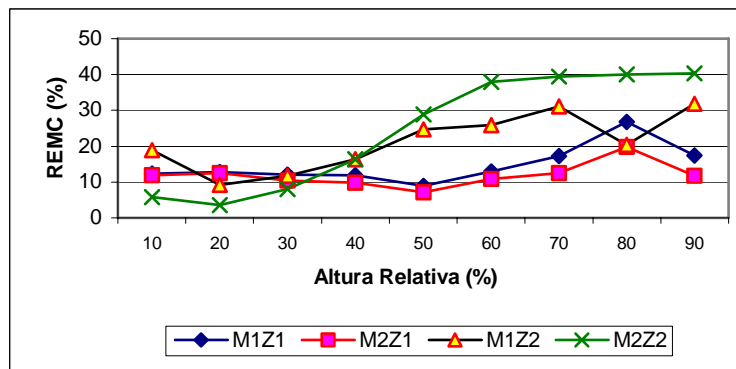


Figura 15. Error en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste (Zona 3)

La figura 15 presenta el error en la estimación de alturas para distintos diámetros a lo largo del fuste, se observa que hasta el 30% de la altura es el modelo 2 (M2Z2) el que presenta las estimaciones de mejor calidad, con valores de error inferiores al 10%, en tanto el otro modelo perteneciente a esta zona presenta una tendencia irregular comenzando con un error cercano al 20% en el 10% de la altura y luego baja a valores de error cercanos o levemente superiores al 10% en el 20 y 30% de la altura, respectivamente, mientras que los modelos de la zona 1 presentan una tendencia similar entre si, con valores de error levemente superiores al 10%. Sobre el 30% de la altura ambos modelos pertenecientes a la zona 2 comienzan a aumentar significativamente su error, especialmente el modelo 2 (M2Z2) el cual alcanza valores cercanos o iguales a un 40% de error sobre el 70% de la altura, mientras que el modelo 1 (M1Z2) alcanza sus valores máximos de error con un 31,11% y 31,91% en el 70% y 90% de altura respectivamente. Los modelos pertenecientes a la zona 1 sobre el 30% hasta el 60% de la altura presentan valores levemente superiores al 10% de error, siendo el modelo 2 (M2Z1) el que presenta las mejores estimaciones de alturas, sobre el 60% de la altura ambos modelos aumentan sus valores de error alcanzando su máximo en el 80% de la altura con errores de 30,84% y 23,78% para el modelo 1 y 2 respectivamente, luego en el 90% de la altura ambos modelos disminuyen su error siendo el modelo 2 el que presenta la mejor estimación de la altura con un 12,32% de error. Pese a que los modelos pertenecientes a la zona 1 ocupan los primeros lugares en el ranking, sólo en el 50% de la altura un modelo cumple con los requisitos de error y sesgo, el cual corresponde al modelo 2 (M2Z1), por lo cual se considera un pobre desempeño de estos modelos en la predicción de alturas. De los modelos pertenecientes a la zona 2, es el modelo 2 (M2Z2) el único que presenta valores de error y sesgo aceptados, pero sólo hasta el 20% de la altura, ya que en el resto del fuste presenta valores altos en sus estadísticos de bondad de predicción.

5. CONCLUSIONES

- El modelo que entregó la mejor estimación de volumen total para la zona de crecimiento 1, fue el modelo 1, presentando valores de sesgo y error superiores a lo aceptado en este estudio. El modelo 2 presenta una leve diferencia en los estadísticos de error y sesgo respecto al modelo 1, y al igual que éste presenta estimaciones de volumen total de baja calidad.
- Para la zona de crecimiento 2, el modelo que presentó la mejor estimación de volumen total, fue el modelo 1, presentando valores de sesgo y error superiores a los admitidos en este trabajo. Respecto al modelo 2, este presenta estadísticos de error y sesgo similares a los del modelo 1, entregando también estimaciones de volumen total de baja calidad.
- El modelo que entregó una mejor estimación de diámetros en la zona 1, fue el modelo 2, aunque no cumple en todos sus intervalos con los requisitos de error y sesgo, presenta una mayor regularidad en la parte central y punta del árbol, pudiendo ser utilizado en estas secciones. El modelo 1 presenta una tendencia similar al modelo 2, pero con sesgos y errores más altos que este modelo.
- Para la zona de crecimiento 2, el modelo que entrega la mejor estimación de diámetros a lo largo del fuste, según el ranking, es el modelo 1, sin embargo, en ningún intervalo de altura relativa cumple con los requisitos de sesgo y error aceptados. En tanto el modelo 2 presenta valores de sesgo y error dentro de lo aceptado hasta el 20% de la altura, pudiendo ser utilizado para estimar diámetros en la parte basal.
- En la estimación de alturas para distintos diámetros en la zona de crecimiento 1, el modelo 2 presentó el mejor desempeño en la estimación de diámetros, aunque sólo en algunos intervalos de la altura obtuvo valores de sesgo y error dentro de lo aceptado. El modelo 1 presenta valores de sesgo y error superiores a la del modelo 2, por lo tanto tampoco es recomendable su utilización en la estimación de alturas, ya que en la mayor parte del fuste entrega estimaciones de baja calidad.
- El mejor desempeño en la estimación de alturas en la zona de crecimiento 2, según el ranking, fue para el modelo 1, sin embargo, este no cumplió en ningún intervalo de altura con los requisitos de sesgo y error aceptados, por lo tanto no es recomendable su utilización. El modelo 2 cumple con los requisitos de sesgo y error hasta el 20% de la altura, siendo recomendable su utilización en la parte basal del árbol.

- El modelo que presentó el mejor desempeño en la calibración de volumen total para la zona 3, fue el modelo 2, perteneciente al ajuste de la zona 1, aunque presentó un sesgo y error fuera del rango aceptado. El segundo lugar lo ocupa el modelo 1 perteneciente a esta misma zona. Los modelos pertenecientes a la zona 2 ocupan el tercer y cuarto lugar, presentando sesgos dentro del rango permitido, sin embargo, poseen errores superiores al 25%, por lo cual se descarta su utilización.
- En la calibración de diámetros en la zona de crecimiento 3, el modelo 2 perteneciente a la zona 1, presentó el mejor comportamiento a lo largo del fuste, aunque sólo cumple con los requisitos de sesgo y error en algunos intervalos de la altura, presentando su mejor desempeño en la parte central del árbol. En tanto el modelo 1 ocupó el segundo lugar, presentando sesgos y errores dentro de lo aceptado sólo en dos intervalos de la altura, por lo cual se hace difícil su utilización en gran parte del fuste. Respecto a los modelos pertenecientes a la zona 2, el modelo M2Z2 puede ser utilizado en la parte basal del árbol, en tanto para el modelo M1Z2 se descarta su utilización.
- En la calibración de alturas para la zona de crecimiento 3, el modelo 2 perteneciente a la zona 1, presentó el mejor desempeño según el ranking, aunque sólo en el 50% de la altura presentó valores de sesgo y error dentro de lo permitido, obteniendo en la parte central sus mejores resultados. El modelo M1Z1 ocupó el segundo lugar, pero este no presentó en ningún intervalo valores de sesgo y error dentro del rango permitido. Los modelos 1 y 2 pertenecientes a la zona 2, ocuparon el tercer y cuarto lugar respectivamente, aunque el modelo 1 no presentó en ningún intervalo de altura relativa valores de sesgo y error dentro del rango permitido, al contrario del modelo 2, el cual hasta el 20% de la altura cumple con los requisitos de error y sesgo, siendo utilizable en la estimación de alturas en la parte basal del árbol.
- Con el propósito de mejorar la calidad de las estimaciones sería recomendable homogeneizar las bases de ajuste, con el fin de lograr un mejor ajuste de los modelos, una alternativa sería subdividir las zonas de crecimiento en subzonas de manera de obtener bases de ajuste con mayor similitud, con respecto a características de crecimiento, esto permitiría un mejor ajuste y posteriormente un mejor desempeño en la estimación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Bruce, D.; Curtis, R.O.; Vancoevering, G. 1968. Development of a Systems of taper and volume tables for red alder. *Forest Science* 14(3): 339-350
- Byrne, J.C.; D. Reed. 1986. Complex compatible taper and volume estimation systems for red and loblolly. *Forest Science* 32(2): 423-443
- Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. V1-Estimación del volumen. Estudio FAO: Montes 22/2. 92 p.
- Canavos, G. 1998. Probabilidad y estadística: Aplicaciones y métodos. Trad. por Edmundo Urbina. México. McGraw-Hill. 650 p.
- Cao, Q. V.; Burkhart, H; Max, T. 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction for loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science* 26(1): 71-80
- Clutter, J.L. 1980. Development of a taper functions from variable for merchantable volume equations. *Forest Science* 26(1): 117-120
- Coffré, L. M. 1983. Modelos fustales. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 46 p.
- Demaerschalk, J.P. 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science* 18(3): 241-245
- Higuera, C. 1994. Funciones de volumen y ahusamiento para Roble (*Nothofagus obliqua*) y Hualo (*Nothofagus alessandri*). Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 74 p.
- Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. *Can. J. For. Res* 18(4): 1363-1368

Loetsch, F.; Zohrer, F; Haller, K. 1973. Forest Inventory. München, Germany, BLB Verlagsgesellschaft. Volume 2. 464 p.

Prodan, M; Peters, R.; Cox, F. y Real, P. 1997. Mensura Forestal. San José, Costa Rica. IICA-GTZO. 561 p.

Reed, D.; Green, E. 1984. Compatible stem taper and volume ratio equations. Forest Science 30 (4): 977-990

Vidal, J. 1998. Construcción de funciones spline funciones de ahusamiento para Lenga (*Nothofagus pumilio*). Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 67 p.

ANEXOS

Anexo 1

Abstract

Compatibility of volume functions and taper to second growth Roble in the 10th Region

Abstract

The objective of this study consisted of the fitting and validation of taper and volume model compatibles with second growth Roble in the 10th region. The information used in this process was based on measurements and data collection of the project FONDEF D9I1065: "Activity's planning software for second growth Roble-Raúl-Coigüe in the 10th region".

We got information from growth zones 3, which were defined according to climate, soil and vegetation in the 10th region. So, zones 1 and 2 were used in the process of adjustment and validation. And in zone 3, a calibration had previously been adjusted in the growth zones 1 and 2.

First of all, a numerical and graphic analysis was carried out in order to get reliable information and avoid mistake. A normality test was applied to the variables of fitting by means of the software STATGRAPHIC. This test was applied before starting the fitting of the compatible taper and volume model. Later, the adjustment, validation and calibration of the model were carried out with the software SYSTAT 9.0.

Accuracy statistician and bias, such as mean square error root and gathered difference performed the evaluation of models according to its predicted capacity of volume, diameter and height. 10 % and 5% of error and bias were accepted to evaluate the predicted capacity of the taper and volume models in the prediction of diameter and height throughout the stem. The last one was divided into defined portions by intervals of 10% of height, according to the approach suggested by Cao *et al* (1980).

In general, the taper and volume models compatible with both zones did not fulfill the requirements of error and bias. Giving a completely deficient estimated volume. However, the best behavior volume models were achieved in growth zone 1. Model 2 obtained the highest achievement.

In growth zone 1, the predicted diameter models just fulfilled the requirements of error and bias in some sections. In growth zone 2, model 2 fulfilled with the requirements of error and bias, only with 20% of height.

Within the prediction of height in growth zone 1, both models fulfilled the requirements of error and bias in some intervals of height. Therefore, the use of it isn't faithful because it is not constant. In growth zone 2, model 2 displays estimation error and bias accepted in a 20% of height. It means the usage is possible in this part of the stem.

In growth zone 3, the volume models did not fulfill with the permitted ranges of error and bias; therefore, the total volume estimation is not of a high quality. Especially, those models that come from the fitting of growth zone 2.

In zone 3, the best achievement in the estimation of diameter along the stem was accomplished by the models, which belonged to the adjustment carried out in zone 3. Model 2 reached the highest achievement. The models that belonged to zone 2, model 2 just let us see values of error and bias, but only in the basal part of the tree.

Even though, the models that belonged to zone 1 achieved the best position, just 50% of the height of a model fulfilled the requirements of error and bias. The last one belonged to model 2, but a low achievement was reached in the model of predicted height in the growth zone 3. In model belonging to zone 2, model 2 just presented and accepted value of error and bias, but with a 20% of height.

Keywords: Roble-Raulí-Coigüe second growth forest, Roble, Compatibility of taper and volume models.

Anexo 2

Variables base de datos "AHUSA. txt"

Variables base de datos "AHUSA.txt"

ID	Identificador de proyecto por parcela
PROY	Número de proyecto
PAR	Número de parcela
NARB	Número de árbol
SP	Especie (1: NA, 2: NO, 3: ND, 99: Otros)
DAP	Diámetro a la altura del pecho (cm)
HT	Altura total (m)
SECC	Número de sección
HCORT	Altura de corte (m)
DSSC	Diámetro de sección sin corteza (cm)
VSC	Volumen sin corteza (cm ² x m)
V5SC	Volumen a un índice de utilización
ZONA	Identificador de la zona al que pertenece

Anexo 3

Estadística descriptiva para bases de ajuste y calibración

Estadística descriptiva para bases de ajuste y calibración

Cuadro 1. Estadística descriptiva para la base de ajuste en la Zona de Crecimiento 1

Variables	DAP	HT	VOLTOT
Número de casos	63	63	63
Mínimo	5,00	4,80	0,007
Máximo	43,60	32,60	1,80
Media	16,00	15,60	0,30
Desv. Estándar	5,00	5,20	0,08

DAP: Diámetro a la altura del pecho HT: Altura total VOLTOT: Volumen total

Cuadro 2. Estadística descriptiva para la base de ajuste en la Zona de Crecimiento 2

Variables	DAP	HT	VOLTOT
Número de casos	57	57	57
Mínimo	5,00	6,10	0,007
Máximo	40,30	27,80	1,40
Media	17,40	16,40	0,28
Desv. Estándar	5,40	5,73	0,090

DAP: Diámetro a la altura del pecho HT: Altura total VOLTOT: Volumen total

Cuadro 3. Estadística descriptiva para la base de calibración en la Zona de Crecimiento 3

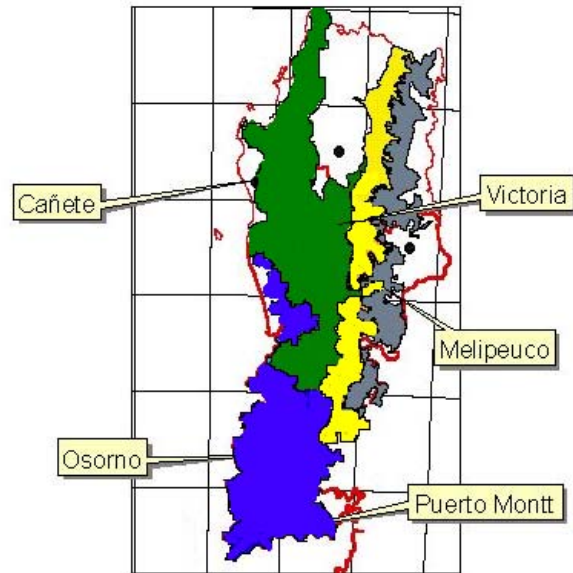
Variables	DAP	HT	VOLTOT
Número de casos	31	31	31
Mínimo	5,00	9,20	0,004
Máximo	43,10	31,80	1,45
Media	18,90	17,70	0,33
Desv. Estándar	6,30	5,50	0,10

DAP: Diámetro a la altura del pecho HT: Altura total VOLTOT: Volumen total

Anexo 4

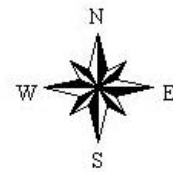
Zonificación área de estudio

Zonificación del área de estudio



10000000 0 10000000 20000000 Miles

Zonificación



Anexo 5

Test de Normalidad

Test de Normalidad

- Zona de crecimiento 1

Cuadro 1. Test de normalidad para la relación Diámetro relativo / DAP (d/D)

Estadística estimada de Kolmogorov	D Plus	0,092
Estadística estimada de Kolmogorov	D minus	0,080
Estadística global estimada	DN	0,092
Valor aproximado de P		0,100

Cuadro 2. Test de normalidad para el volumen total

Estadística estimada de Kolmogorov	D Plus	0,093
Estadística estimada de Kolmogorov	D minus	0,085
Estadística global estimada	DN	0,093
Valor aproximado de P		0,100

Cuadro 3. Test de normalidad para el DAP

Estadística estimada de Kolmogorov	D Plus	0,082
Estadística estimada de Kolmogorov	D minus	0,056
Estadística global estimada	DN	0,082
Valor aproximado de P		0,100

- Zona de crecimiento 2

Cuadro 4. Test de normalidad para la relación Diámetro relativo / DAP (d/D)

Estadística estimada de Kolmogorov	D Plus	0,076
Estadística estimada de Kolmogorov	D minus	0,050
Estadística global estimada	DN	0,076
Valor aproximado de P		0,100

Cuadro 5. Test de normalidad para el volumen total

Estadística estimada de Kolmogorov	D Plus	0,092
Estadística estimada de Kolmogorov	D minus	0,086
Estadística global estimada	DN	0,092
Valor aproximado de P		0,100

Cuadro 6. Test de normalidad para el DAP

Estadística estimada de Kolmogorov	D Plus	0,096
Estadística estimada de Kolmogorov	D minus	0,084
Estadística global estimada	DN	0,096
Valor aproximado de P		0,100

Anexo 6

Residuales del ajuste de modelos compatibles para las zonas de crecimiento

Residuales del ajuste de los modelos para la zona de crecimiento 1

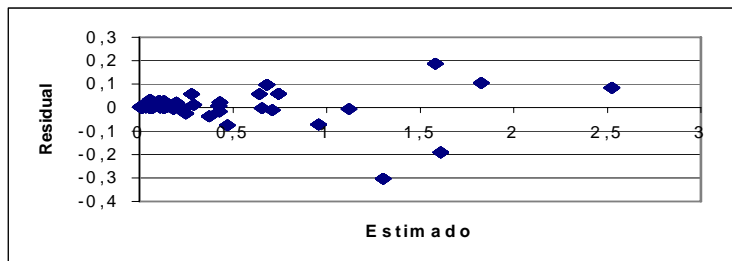


Figura 1. Residuales del ajuste del modelo de volumen Honer

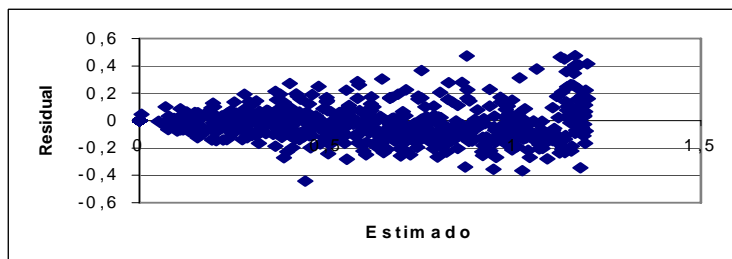


Figura 2. Residuales del ajuste del modelo de ahusamiento Honer

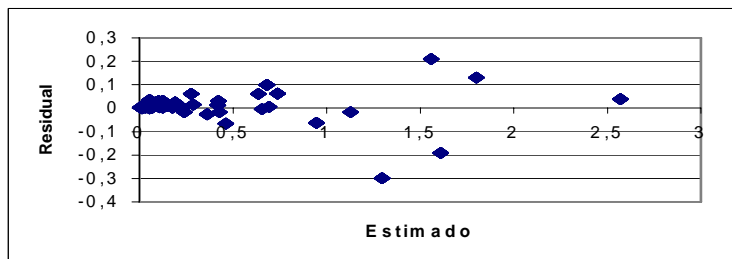


Figura 3. Residuales del ajuste del modelo de volumen Sin Intercepto

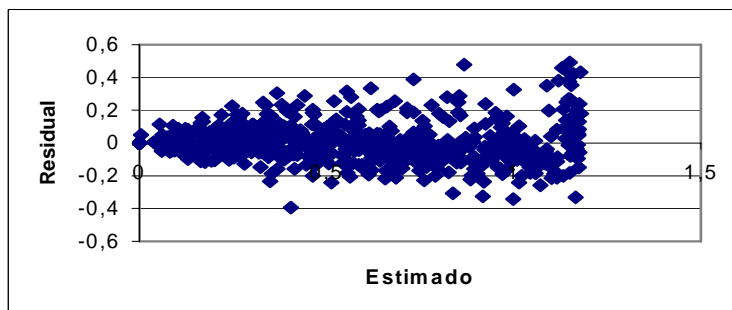


Figura 4. Residuales del ajuste del modelo de ahusamiento Sin Intercepto

Residuales del ajuste de los modelos para la zona de crecimiento 2

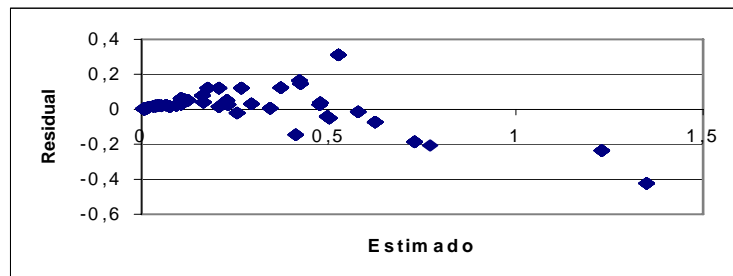


Figura 5. Residuales del modelo de volumen Honer

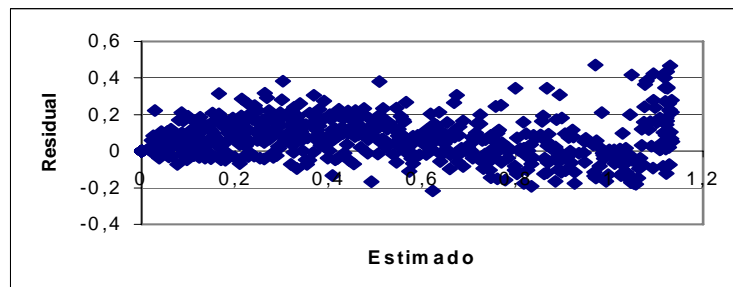


Figura 6. Residuales del modelo de ahusamiento Honer

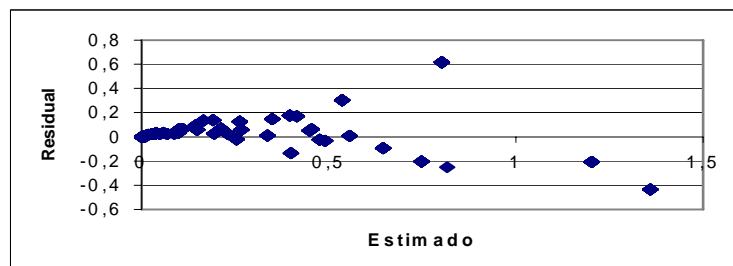


Figura 7. Residuales del modelo de volumen Sin Intercepto

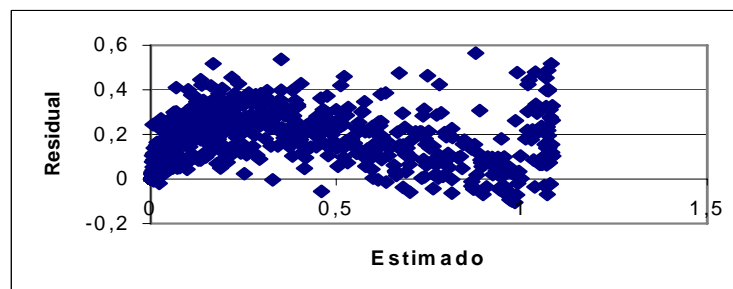


Figura 8. Residuales del ajuste del modelo de ahusamiento Sin Intercepto