

# DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE RENDIMIENTO PARA RENOVALES DE ROBLE, RAULI Y COIGUE

Salvador A. Gezan<sup>1</sup>

Alicia Ortega Z.<sup>2</sup>

Junio, 2001

## 1. INTRODUCCION

Los renovales de Roble, Raulí y Coigue constituyen una de los bosques naturales más interesantes de Chile. La amplia distribución de este tipo forestal, el valor de la madera de sus especies y sus tasas de crecimiento hace que representen una reserva de alto potencial económico dentro del sector forestal chileno.

Durante el período comprendido entre enero de 1998 y septiembre de 2000, la Universidad Austral de Chile a través de su Proyecto FONDEF D97I1065 “Software de Planificación de Renovales de Roble, Raulí y Coigue en la IX y X Región” orientó sus actividades al desarrollo de un simulador de renovales para ser aplicado en Chile en rodales del tipo forestal Roble, Raulí y Coigue.

El diseño, construcción, e implementación del *Simulador Nothofagus* fue el producto de un conjunto grande de actividades, entre las que se encuentran la recopilación y generación de una gran base de datos con parcelas temporales, de volteo y permanentes, junto a la medición de algunos ensayos existentes de raleo y finalmente el desarrollo de un modelo de rendimiento.

En el presente documento se describen las características de este simulador, con especial énfasis en la especificación de los modelos incorporados, junto a algunos elementos específicos como los supuestos, rango de aplicación y algunos algoritmos. Las características del simulador implementado permiten que éste sea ocupado tanto para estimación de algunos parámetros de rodal o árbol como el Índice de Sitio, volumen total o por productos, alturas individuales, etc., o para la predicción de un rodal, en donde mediante modelos de rendimiento se puede proyectar su desarrollo futuro.

## 2. DEFINICION Y ESTRATIFICACION DE LA POBLACION BASE

El Proyecto FONDEF D97I1065 o “*Proyecto Software Nothofagus*” en su etapa inicial fue definido para incorporar los bosques de segundo crecimiento del tipo forestal Roble, Raulí y Coigue localizados en la IX y X Región. Producto de que una buena parte de la información histórica disponible se localiza en las cercanías del límite entre la VIII y X Región, se decidió ampliar el área de acción incluyendo la porción sur de la VIII Región. De este modo, el área de trabajo incluyó todos aquellos renovales del tipo forestal de interés localizados en Chile entre los 37° 30' y los 42° 00' de latitud sur, es decir entre Los Angeles y Maullín.

La información utilizada para especificar la población objetivo provino del “Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile” (CONAF, 1998). En este estudio, se caracterizaron unidades cartográficas homogéneas (UCH) con cobertura forestal en las cuales se describió en terreno entre otras cosas las principales especies presentes, grado de alteración, altura del dosel dominante, tipo y subtipo forestal, etc., junto a otra información cartográfica como pendiente, exposición, altitud, región, provincia, etc. Es importante destacar que sólo una porción de estas unidades fueron directamente visitadas en terreno, y el resto fue extrapolado desde otras unidades cercanas utilizando fotografías aéreas.

---

<sup>1</sup> Director Técnico Proyecto FONDEF D97I1065. Universidad Austral de Chile. E-mail: sgezan@ufl.edu

<sup>2</sup> Directora de Proyecto FONDEF D97I1065. Universidad Austral de Chile. E-mail: aortega@uach.cl

La definición usada por el “Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile” para especificar los diferentes tipos y subtipos forestales está enfocada a aspectos legales, las cuales difieren en parte de las definiciones de comunidades requeridas por el presente proyecto, por este motivo, se procedió a re-procesar la información de todos los UCH del área de trabajo definiéndose nuevos tipos de bosques cuyas superficies se muestran en el Cuadro N° 1. En este cuadro, se mantienen separadas las superficies para las diferentes combinaciones de bosques mixtos, las que en análisis posteriores fueron consideradas como una sola categoría.

Cuadro N° 1.- Superficie por Tipo de Bosque y Región (ha.)

TIPO	VIII Región	IX Región	X Región	Total	%
<b>Coigue</b>	13,744.64	59,847.93	84,555.79	<b>158,148.35</b>	<b>22%</b>
<b>Raulí</b>	860.46	2,380.99	668.19	<b>3,909.64</b>	<b>1%</b>
<b>Roble</b>	71,544.76	114,668.30	65,952.73	<b>252,165.78</b>	<b>36%</b>
<b>Coigue-Roble</b>	30,164.09	60,521.19	51,756.78	<b>142,442.06</b>	<b>20%</b>
<b>Raulí-Coigue</b>	2,374.10	32,965.25	5,953.76	<b>41,293.11</b>	<b>6%</b>
<b>Raulí-Roble</b>	24,129.17	19,365.46	1,136.78	<b>44,631.42</b>	<b>6%</b>
<b>Roble-Raulí-Coigue</b>	19,242.43	46,721.81	1,299.71	<b>67,263.96</b>	<b>9%</b>
<b>Total</b>	<b>162,059.65</b>	<b>336,470.93</b>	<b>211,323.74</b>	<b>709,854.32</b>	<b>100%</b>
<b>%</b>	<b>23%</b>	<b>47%</b>	<b>30%</b>	<b>100%</b>	

Debido al amplio rango geográfico en donde se encuentran presentes las especies, que implica entre otras cosas diferencias notorias en clima, suelo, competencia biológica y procedencias, se procedió a definir un conjunto de 4 Zonas y 11 Subzonas de Crecimiento. En estas áreas geográficas relativamente homogéneas se espera que los desarrollos sean similares en términos de crecimiento, respuesta a tratamientos silvícolas, especies acompañantes, etc. Estas Zonas y Subzonas fueron definidas en un estudio inicial del proyecto, en donde se utilizaron diversos mapas y estudios de suelo, clima, productividad de sitio y crecimiento (Gezan, 1999a). Sin embargo, para el desarrollo posterior del *Simulador Nothofagus* sólo se consideraron las Zonas de Crecimiento, debido a que las Subzonas presentan un nivel bajo de información para generar modelos diferenciados de calidad.

Una buena parte de los esfuerzos y recursos del proyecto se destinaron a generar nueva información. Con el objetivo de no sesgar la caracterización del recurso, se definieron estratos en base a la información disponible del Catastro y a la caracterización de los rodales sobre los cuales en forma posterior se asignaron las unidades muestrales de cada uno de los estudios específicos del proyecto. Estos estratos se definieron considerando el Tipo de Bosque (Roble, Raulí, Coigue, Mixto), Región (VIII, IX, X), Zona de Crecimiento (1, 2, 3, 4) y la Altura del Dosel. Más antecedentes sobre la definición de estratos y posterior muestreo se encuentra en Gezan (1999b) y Gezan y Muñoz (1999).

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La definición de las características del simulador por un lado estuvo limitada al plazo de desarrollo del proyecto el cual fue cercano a 3 años. Este plazo tan reducido de tiempo para la recopilación y generación de información, ajuste de modelos y construcción del software, sólo permitieron la definición de un simulador simple y conservador en sus características. El otro factor limitante para el simulador fue la información disponible desde otros estudios al momento de inicio del proyecto, éstas se basaron principalmente en parcelas de inventarios (temporales) de diferentes estudios, y un número limitado de ensayos de raleo (Ortega y Gezan, 1998).

Debido a las limitaciones antes descritas, se decidió desarrollar un simulador de rendimiento a nivel agregado (rodal) orientado a renovales puros o casi puros de Roble, Raulí, Coigue o Mixtos, con la incorporación de un módulo de generación de tablas de rodal para la estimación de diferentes volúmenes de productos. No se incluyeron tratamientos silvícolas como raleo debido a que la información actual es muy reducida, y solo está enfocada a Raulí.

#### 4. CARACTERIZACION DE LA INFORMACION

Las actividades relacionadas con los antecedentes se enfocaron principalmente a: 1) recopilación de información histórica y, 2) generación de nueva información.

La fase de recopilación de información histórica se basó en la digitación, depuración, análisis y construcción de bases de datos. Esta se generó principalmente con mediciones de parcelas temporales aportadas por investigadores de la Universidad Austral de Chile y el Instituto Forestal. Entre ellas se encuentra un estudio de parcelas de volteo (Sr. Pablo Donoso), un estudio de crecimiento (Sr. Hans Grosse) y parcelas de inventario de la empresa forestal Bomasa S.A. (recopilados a través del Sr. Antonio Lara). La única fuente de información de parcelas permanentes consistió en 3 ensayos de raleo de Raulí establecidos por el Sr. Mario Puente en la Zona Precordillerana (recopilados a través del Sr. Patricio Nuñez).

Para la generación de nueva información se estableció una Red de Parcelas Permanentes en todo el recurso consistente en 128 parcelas permanentes de 250 y 500 m<sup>2</sup>, en donde se midieron todos los árboles con DAP mayor a 5 cm, y se eligió una muestra para la medición de alturas y extracción de tarugos para determinar la edad a 1.3 m de altura. También se constituyó una Red de Parcelas de Volteo (temporales) conformada por 60 unidades muestrales de 250 m<sup>2</sup> (conglomerados de 2 parcelas de 125 m<sup>2</sup>), en donde se voltearon 4 árboles (2 dominantes, 1 intermedio y 1 suprimido) de los cuales se obtuvieron rodels para ser analizadas en laboratorio.

Tanto las Parcelas Permanentes como las de Volteo fueron establecidas eligiendo rodales de acuerdo a la estratificación definida previamente. Estos rodales fueron seleccionados de forma tal que en su mayoría presenten niveles bajos o nulos de alteración antrópica (floreo, ganado, raleo) y que tengan una clara dominancia (en términos de área basal) de las especies de *Nothofagus* de interés (es decir, Roble, Raulí y Coigue). Más detalles sobre los procedimientos de medición y elección de muestras para estas dos redes se encuentran en Gezan (1998) y Gezan y Moreno (1999).

En el Cuadro N° 2 se resumen las características dasométricas de acuerdo a cada tipo de bosque (Especie Dominante) tanto de las parcelas establecidas como recopiladas que fueron utilizadas para el desarrollo de los diferentes modelos del *Simulador Nothofagus*.

#### 5. DESARROLLO DEL SIMULADOR

Un supuesto básico utilizado tanto con la información recolectada como la generada es que ella representa en forma satisfactoria la población en estudio. Es decir, que sus promedios constituyen los promedios de la población base.

Para la generación de los modelos se utilizaron únicamente aquellas parcelas en donde existía una clara dominancia de *Nothofagus*, es decir, solo aquellas parcelas en donde el área basal de Roble, Raulí y Coigue en su conjunto conformaran más del 60% del área basal total. Por otro lado, debido al corto plazo de ejecución del proyecto las unidades muestrales de la Red de Parcelas Permanentes sólo pudieron ser medidas en una única ocasión (al momento de establecimiento) por lo que fueron consideradas como parcelas temporales.

Cuadro N° 2. – Estadísticos Descriptivos de las Parcelas Utilizadas

RAULI						
PARAMETRO	N	Mínimo	Media	Máximo	Desv. Est.	C.V.
AB Total (m <sup>2</sup> /ha)	30	10.76	43.28	72.33	16.24	0.38
AB Nothofagus (m <sup>2</sup> /ha)	30	8.2	37.38	59.73	13.64	0.37
NHA (arb./ha)	30	320	2134.6	4880	1221.98	0.57
NHA Nothofagus (arb./ha)	30	320	1505.73	3240	807.87	0.54
V Total s/c (m <sup>3</sup> )	22	38.99	310.22	590.25	165.2	0.53
DC (cm)	30	8.45	17.65	38.53	6.08	0.34
HD (m)	29	10.15	21.83	35.08	5.99	0.27
Edad al DAP (años)	29	21.05	43.57	73.33	12.52	0.29
IS (m)	28	5.3	10.84	23.02	3.74	0.35
ROBLE						
PARAMETRO	N	Mínimo	Media	Máximo	Desv. Est.	C.V.
AB Total (m <sup>2</sup> /ha)	124	9.54	35.68	81.71	12.89	0.36
AB Nothofagus (m <sup>2</sup> /ha)	124	8.76	31.47	80.91	11.79	0.37
NHA (arb./ha)	124	320	2106.61	5080	1215.25	0.58
NHA Nothofagus (arb./ha)	124	280	1611.13	5040	1064.78	0.66
V Total s/c (m <sup>3</sup> )	104	27.39	284.23	677.46	158.65	0.56
DC (cm)	124	6.78	16.73	34.7	6.65	0.4
HD (m)	120	7.83	22.62	42.4	7.19	0.32
Edad al DAP (años)	109	12.71	38.21	165.81	19.71	0.52
IS (m)	105	2.33	11.74	22.14	3.77	0.32
COIGUE						
PARAMETRO	N	Mínimo	Media	Máximo	Desv. Est.	C.V.
AB Total (m <sup>2</sup> /ha)	49	15.23	55.43	98.42	17.9	0.32
AB Nothofagus (m <sup>2</sup> /ha)	49	14.51	49.13	89.57	17.51	0.36
NHA (arb./ha)	49	200	2583.27	5560	1337.31	0.52
NHA Nothofagus (arb./ha)	49	200	1895.51	5560	1236.18	0.65
V Total s/c (m <sup>3</sup> )	47	106.67	425.39	1129.96	225.07	0.53
DC (cm)	49	9.22	18.7	70.42	9.22	0.49
HD (m)	47	12.36	22.21	37.66	5.9	0.27
Edad al DAP (años)	44	21.58	39.96	72.92	12.33	0.31
IS (m)	42	3.63	11.1	18.85	3.28	0.3
MIXTO						
PARAMETRO	N	Mínimo	Media	Máximo	Desv. Est.	C.V.
AB Total (m <sup>2</sup> /ha)	29	15.49	44.37	78.1	16.34	0.37
AB Nothofagus (m <sup>2</sup> /ha)	29	10.35	35.99	63.2	13.04	0.36
NHA (arb./ha)	29	784	2569.03	5600	1244.49	0.48
NHA Nothofagus (arb./ha)	29	340	1490	4960	1060.52	0.71
V Total s/c (m <sup>3</sup> )	26	77.49	308.29	641.7	160.33	0.52
DC (cm)	29	8.41	15.85	25.49	4.76	0.3
HD (m)	29	9.93	20.63	28.52	4.73	0.23
Edad al DAP (años)	25	19.6	48	113.2	19.96	0.42
IS (m)	25	3.18	8.99	15.16	3.32	0.37

A fin de simplificar y facilitar el desarrollo de los modelos se optó por agregar todas las especies acompañantes en un solo grupo, el que fue definido como “Otras”. Esta simplificación puede parecer incorrecta, sin embargo, al elegirse previamente solo aquellos rodales en donde domina *Nothofagus* se está orientando el análisis a rodales en donde el grupo “Otras” no se encuentran plenamente desarrollado, produciendo un efecto no significativo en términos de competencia.

## 5.1 Variables de Entrada

Se optó por definir un número limitado de variables de entrada, de forma tal que cualquier usuario a través de un inventario tradicional pueda hacer uso del simulador, estas son:

*Especie Dominante o Composición:* especie mayoritaria del dosel dominante del rodal. Para rodales puros corresponde a la especie de Roble, Raulí o Coigue que tiene una proporción de área basal mayor al 70% del área basal de todos los *Nothofagus*, en caso contrario el rodal pasa a ser Mixto.

*Zona de Crecimiento:* zona geográfica de crecimiento a la cual pertenece el rodal ingresado. Se determina consultando la documentación disponible (Gezan, 1999a).

*Edad al DAP o Edad Dominante (años):* edad promedio obtenido a 1.3 m de altura de los 100 árboles por hectárea más gruesos (de mayor DAP) obtenido independiente de las especies.

*Altura Dominante (m):* altura promedio de los 100 árboles por hectárea más gruesos (de mayor DAP) de cualquier especie.

*Índice de Sitio (m):* altura dominante que presenta el rodal a la edad clave de 20 años.

*Área Basal ( $m^2/ha$ ):* área basal de cada especie o grupo (Roble, Raulí, Coigue y Otras).

*Número de Árboles (arb./ha):* árboles por hectárea de cada una de las especies (Roble, Raulí, Coigue y Otras).

*Diámetro Cuadrático (cm):* diámetro del árbol de área basal promedio especificado para cada especie (Roble, Raulí, Coigue y Otras).

La definición de Edad Dominante utilizada pretende representar la edad promedio que tienen los árboles que primero se establecieron en el rodal, bajo el supuesto de que la mayoría de estos rodales se desarrollaron luego de eventos catastróficos como incendios, talas rasas, deslizamientos, etc. Se optó por elegir la edad a 1.3 m de altura y no al tocón, debido a que esta última presenta un mejor comportamiento (menos errático), ya que depende en menor grado de elementos tales como origen del rebrote o la competencia durante los primeros años. Para aquellos casos en donde se disponga de la edad a la altura del tocón se pueden descontar 2.5 años a esta edad (independiente de la especie de *Nothofagus*). Este valor fue obtenido promediando los registros disponibles de árboles volteados.

Se pueden ingresar solo 2 de las 3 variables de Edad al DAP, Altura Dominante e Índice de Sitio, debido a la relación funcional que existe entre ellas a través de las Curvas de Sitio que estima la variable faltante. Idéntica situación se presenta entre el Área Basal, Número de Árboles y Diámetro Cuadrático.

Además, se incorporó una variable que se calcula en forma interna llamada “Proporción de Árboles de *Nothofagus*” (PNHAN) y que permite identificar los niveles de presencia de las especies de *Nothofagus* por sobre el resto, su fórmula corresponde a la razón entre la suma de los árboles de Roble, Raulí y Coigue respecto al total de árboles de la parcela multiplicado por 100.

## 5.2 Flujo del Simulador

En esta sección se describen los módulos principales que definen la estructura del modelo de rendimiento para el *Software Nothofagus* junto a algunos supuestos y algoritmos incorporados.

### A. Desarrollo del Rodal

La simplificación del flujo de este módulo se muestra en la Figura N° 1, en ella se observan las 2 opciones del flujo, una que considera una definición de mortalidad en forma explícita y la otra implícita. La primera opción incluye una función de rendimiento de Diámetro Cuadrático y otra de mortalidad que depende de la capacidad máxima del rodal. Para la opción de mortalidad implícita, el Número de Árboles se obtiene de la relación que existe en las estimaciones de Diámetro Cuadrático y Área Basal para el nuevo periodo, los detalles se presentan más adelante.

La proyección del rodal a simular se inicia generando los valores de Altura Dominante para cada uno de los años del período de simulación deseado ( $E_0$  a  $E_F$ ), de acuerdo al Índice de Sitio y a la Especie Dominante. Posteriormente, se estiman para cada edad los otros parámetros del rodal (Área Basal, Diámetro Cuadrático, Número de Árboles y Volumen Total sin corteza) en forma agregada, es decir, sin hacer distinción por especie. En una etapa posterior, estos parámetros se redistribuyen para cada una de las especies o grupos de acuerdo a las proporciones especificadas originalmente considerando algunas leves modificaciones que se detallan más adelante. Finalmente, estos valores por especie se utilizan para generar las distribuciones diamétricas y calcular los volúmenes por producto, clase diamétrica y especie, de acuerdo al flujo que se muestra en la Figura N° 2 y que se describe en otra sección.

#### i) Curvas de Altura Dominante

Estas curvas expresan el desarrollo de la Altura Dominante en términos de la Edad Dominante para un Índice de Sitio específico, ellas tienen una fuerte influencia sobre el desarrollo del rodal a simular dado que la Altura Dominante es una variable de entrada en la mayoría de los modelos utilizados. Para el presente proyecto, se desarrollaron curvas de sitio polimórficas para las especies Roble, Raulí en cada uno de las Zonas de Crecimiento en las que se encuentran presentes. Sin embargo, para Coigüe debido a la falta de información sólo se generaron dos modelos uno para la Zona 4 y otro de aplicación general para cualquier Zona. Las características de los modelos probados, fuente de información y procedimientos son descritos por Gezan y Moreno (2000a).

El modelo incorporado en el simulador se detalla a continuación y los parámetros obtenidos para cada una de los grupos Zona x Especie se muestra en el Cuadro N° 3.

$$HD = 0.3 + a \left[ 1 - \left\{ 1 - (IS / a)^c \right\}^{((E + 0.5) / 18)} \right]^{1/c}$$
$$c = b_0 + b_1 IS$$

donde,

HD	Altura Dominante (m)
E	Edad Dominante o Edad al DAP (años)
IS	Índice de Sitio a los 20 años (m)
a, $b_0$ , $b_1$	Parámetros ha ser estimados
c	Constante del Índice de Sitio

Cuadro N° 3.- Parámetros para las Curvas de Sitio y Altura Dominante

ESPECIE DOMINANTE	ZONA	a	B <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	SCE	n
Raulí	1	40.108798	0.8756364	-0.0025575	1028.59	2215
	2	42.716962	0.6814586	0.0235444	928.90	1552
	4	35.900857	0.8425262	-0.0034789	1191.02	1775
Roble	1	50.781108	0.9007745	-0.0055009	1120.97	1170
	2	36.532756	0.7602626	-0.0036924	1351.17	1437
	3	52.971650	0.7186384	0.0109518	541.05	698
	4	54.689229	0.5997690	0.0145311	1305.35	1593
Coigue	4	42.829543	0.6484692	0.0173443	703.20	1833
	Todas	45.342151	0.6340160	0.0239507	1673.62	2861

## ii) Modelos de Rendimiento en Diámetro Cuadrático y Area Basal

Los modelos de rendimiento de Diámetro Cuadrático y Area Basal fueron obtenidos mediante técnicas de regresiones lineales utilizando siempre como variable dependiente la transformación logarítmica del parámetro de rodal, y como variables independientes se probaron diversas transformaciones como inversos, potencias, logaritmos, etc. En todos los casos, el modelo final elegido fue el que presentó la menor suma de los cuadrados del error (SCE), verificando previamente la existencia de valores extremos (“outliers”) y que todos los parámetros sean significativos (al 95%) mediante la prueba t de Student.

Debido a que la cantidad limitada de observaciones para Raulí y Coigue para la generación de modelos confiables, se procedió a combinar la información disponible de todas las Tipos de Bosques (incluyendo Roble y Mixto). Para poder reflejar las diferencias entre ellas se incorporaron en el ajuste variables mudas (o efectos fijos) representados por la Composición, las cuales luego fueron analizadas a través de Análisis de Varianza para determinar si eran significativas. Un análisis idéntico se realizó con la variable de Zona de Crecimiento.

La incorporación de efectos fijos sobre los modelos de rendimiento lineales con transformación logarítmica permite agregar una asíntota diferenciada para cada efecto (ya sea la Composición o Zona), permitiendo representar las diferencias biológicas que existen entre las especies y áreas geográficas debido a distintas capacidades de carga. Los modelos finalmente implementados son:

$$DC = \exp[a + b / E^{0.5} + c \ln(PNHAN) + d \ln(IS)]$$

$$AB = \exp[z_i + b / E^{0.5} + c / HD^2 + d / PNHAN]$$

donde,

DC	Diámetro Cuadrático Total (todas las especies) (cm)
AB	Area Basal Total (todas las especies) (m <sup>2</sup> /ha)
PNHAN	Proporción de Árboles de <i>Nothofagus</i> sobre el total (%)
a, b, c, d	Parámetros ha ser estimados
z <sub>i</sub>	Parámetros de Asíntota para cada Composición (i = 1, 2, 3, 4)

En el uso del *Simulador Nothofagus* es recomendable agregar toda la información requerida, sin embargo, para los casos en donde alguna variable no este disponible se obtuvieron modelos simplificados. De este modo, para los modelos anteriores si se desconoce la variable PNHAN los modelos a usar son:

$$DC = \exp[a + b / E^{0.5} + c \ln(HD)]$$

$$AB = \exp[z_1 + b / E^{0.5} + c / HD^2]$$

Las otras variables fueron anteriormente definidas y los parámetros se detallan en el Cuadro N° 4 y 5 junto a algunos de sus estadísticos de ajuste.

Cuadro N° 4.- Modelos de Rendimiento de Diámetro Cuadrático

PARAMETRO O ESTADISTICO	DC (completo)	DC (incompleto)
A	2.39363156 (0.1624)	0.91823988 (0.2480)
B	-9.30093599 (0.4136)	-2.45881151 (0.5420)
C	0.16602269 (0.0365)	0.74199306 (0.0582)
D	0.51355356 (0.0399)	-
R <sup>2</sup>	0.7437	0.7165
Sxy	0.17735	0.18606
N	194	194

Cuadro N° 5.- Modelos de Rendimiento de Area Basal

PARAMETRO O ESTADISTICO	AB (completo)	AB (incompleto)
z <sub>1</sub> (Raulí)	4.25957800	4.43859625
z <sub>2</sub> (Roble)	4.18230179	4.35589700
z <sub>3</sub> (Coigue)	4.54519687	4.72805397
z <sub>4</sub> (Mixto)	4.30849434	4.52113730
B	-3.24738756	-3.61358582
C	-73.55124876	-73.93536318
D	7.75680322	-
R <sup>2</sup>	0.5522	0.5387
Sxy	0.29371	0.29731
N	194	194

Una de las características del *Simulador Nothofagus* es que el desarrollo de un rodal ingresado depende de las condiciones particulares de Edad Dominante, Índice de Sitio, Area Basal, etc., y desde este punto del espacio multidimensional el rodal continúa su desarrollo. Para incorporar esta opción fue necesario transformar los modelos de rendimiento originales en modelos compatibles de crecimiento, el procedimiento es descrito por Clutter *et al.* (1983, pp. 120-124) y al ser aplicado a los modelos anteriores de rendimiento genera los siguientes modelos de crecimiento:

$$DC_1 = DC_0 \exp[b (1/E_1^{0.5} - 1/E_0^{0.5}) + c \ln(HD_1 / HD_0)]$$

$$AB_1 = DC_0 \exp[b (1/E_1^{0.5} - 1/E_0^{0.5}) + c (1/HD_1^2 - 1/HD_0^2)]$$

donde,

E <sub>0</sub> , E <sub>1</sub>	Edad en el estado inicial (0) y siguiente (1) de proyección (E <sub>1</sub> = E <sub>0</sub> + 1)
DC <sub>0</sub> , DC <sub>1</sub>	Diámetro Cuadrático en las edades E <sub>0</sub> y E <sub>1</sub> respectivamente
AB <sub>0</sub> , AB <sub>1</sub>	Area Basal en las edades E <sub>0</sub> y E <sub>1</sub> respectivamente
HD <sub>0</sub> , HD <sub>1</sub>	Altura Dominante en las edades E <sub>0</sub> y E <sub>1</sub> respectivamente



Los modelos anteriores de crecimiento no consideran la variable PNHAN, debido a que se asumió que esta variable se mantiene constante en el tiempo. Existen algunos antecedentes silviculturales que indican que este supuesto no es adecuado, en donde, a medida que envejece el rodal aparecen otras especies acompañantes, por lo que PNHAN tendería a disminuir, sin embargo, la falta de antecedentes dasométricos y el hecho que la mayoría de estas nuevas plantas se demora en sobrepasar el diámetro límite para que sean medidas (5 cm), justifican el uso de este supuesto.

### iii) Relación Tamaño-Densidad

Para expresar el grado de competencia existente en un rodal se utilizó el Índice de Densidad Relativa (IDR%), el que corresponde a la razón entre la densidad actual y la densidad que existiría si se estuviera en el nivel máximo de competencia. Este nivel se expresó a través del Número de Árboles utilizando la relación de Tamaño-Densidad de Reineke, cuya formula es:

$$\ln(NHA) = a_i + b \ln(DC)$$

donde,

NHA	Número de Árboles Totales (Todas las Especies) (arb./ha)
DC	Diámetro Cuadrático Total (Todas las Especies) (cm)
$a_i$	Parámetro de origen para cada Composición ( $i = 1, 2, 3, 4$ )
$b$	Parámetro de pendiente común para todas las especies.

Este modelo fue ajustado a través de mínimos cuadrados generando una pendiente común para todas las Especies Dominantes y un origen específico para cada una de ellas mediante el uso de una variable muda por especie (efecto fijo). Debido a que la relación anterior define una curva en donde se encuentra el máximo Número de Árboles para un Diámetro Cuadrático determinado, y dado que los interceptos obtenidos por ajuste de mínimos cuadrados corresponden a la situación promedio, se calculó un intercepto máximo ( $a_{max}$ ) generando previamente los interceptos de cada parcela, y calculando el promedio de los 2 mayores valores por especie dominante. Los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 6.- Parámetros de la Relación Tamaño-Densidad

ESPECIE DOMINANTE	$a_{max}$	$a_i$	$b$	$n$
<b>Raulí</b>	12.10265504	11.4481228	-1.40179420	29
<b>Roble</b>	11.90114712	11.3231289	-1.40179420	104
<b>Coigue</b>	12.27055606	11.7132324	-1.40179420	44
<b>Mixto</b>	12.05328770	11.5134672	-1.40179420	24

$$n = 201; R^2 = 0.7015\%; S_{xy} = 0.3327$$

De los parámetros anteriores se deriva el IDR%, que se obtiene de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$NHA_{max} = \exp[a_{max} + b \ln(DC)]$$

$$IDR\% = 100 (NHA / NHA_{max})$$

donde,

$NHA_{max}$	Número Total Máximo de Árboles (Todas las Especies) (arb./ha)
IDR%	Índice de Densidad Relativa (%)

#### iv) Modelo de Mortalidad

Ninguna de las relaciones que expresaba el Número de Árboles en relación a la Edad o Altura Dominante resultó satisfactoria, y dado que no existe suficiente información histórica sobre el desarrollo de la mortalidad se optó por incorporar un modelo de decaimiento exponencial que estima el nuevo Número de Árboles (en  $E_1$ ) sobre la base del Diámetro Cuadrático estimado para el próximo período (en  $E_1$ ) y una relación que expresa la “cercanía” del Diámetro Cuadrático actual (en  $E_0$ ) y el que debería existir bajo la densidad máxima esperada mediante la relación de Tamaño-Densidad máxima anteriormente descrita. En este modelo, el primer paso es calcular el Diámetro Cuadrático que se tendría por Reineke (DCR) de acuerdo a la densidad actual ( $NHA_0$ ), y su formula es:

$$DCR = [NHA_0 / \exp(a_{\max})]^{(1/b)}$$

Posteriormente, este valor se incorpora en el siguiente modelo de decaimiento exponencial:

$$NHA_1 = NHA_0 [DC_1 / DC_0] ^ [b (DC_0 / DCR)]$$

donde,

$NHA_0, NHA_1$	Número de Árboles en las edades $E_0$ y $E_1$ respectivamente (arb./ha)
$DC_0, DC_1$	Diámetro Cuadrático en las edades $E_0$ y $E_1$ respectivamente (cm)
DCR	Diámetro Cuadrático calculado de la relación de Tamaño-Densidad
b	Parámetro de pendiente de la relación Tamaño-Densidad

El modelo anterior permite “orientar” el desarrollo de diferentes rodales de modo tal que si se encuentran bajo o sobre la curva de máxima densidad, a largo plazo y bajo ausencia de intervenciones silvícolas (raleo) se aproximarán hacia esta curva guía.

#### v) Modelo de Rendimiento en Volumen Total sin Corteza

Como parte de otra actividad del Proyecto se ajustaron funciones de volumen y ahusamiento para Roble, Raulí y Coigue en cada una de las Zonas de Crecimiento utilizando mediciones de árboles volteados y de árboles en pie (Moreno y Gezan, 2000a). Posteriormente, se utilizaron las funciones de ahusamiento de diámetros sin corteza obtenidas para estimar los volúmenes totales de cada parcela, los que luego fueron usados para generar un modelo de rendimiento en Volumen Total sin corteza por hectárea. Para su obtención, al igual que con los modelos de rendimiento de DC y AB se probaron diferentes combinaciones de variables y se analizó la incorporación de los efectos fijos de las especies (Composición) y Zona de Crecimiento. En este caso, los efectos fijos resultaron ser no significativos, obteniéndose únicamente variantes con y sin la variable PNHAN, las que son:

$$VTsc = a [AB^b HD^c PNHAN^d]$$
$$VTsc = a [AB^b HD^c]$$

donde,

VTsc	Volumen Total sin corteza ( $m^3/ha.$ )
a, b, c, d	Parámetros ha ser estimados

Las otras variables fueron anteriormente definidas, los parámetros y algunos estadísticos se muestran en el Cuadro N° 7.

Ambos modelos fueron incorporados en el *Simulador Nothofagus*, sin embargo, en aquellos casos en donde no se ingresaba la información completa, es decir, cuando faltaba el parámetro PNHAN, al igual que con los modelos de Area Basal y Diámetro Cuadrático, se usaron los modelos incompletos.

Cuadro N° 7.- Modelos de Rendimiento de Volumen Total sin Corteza

PARAMETRO O ESTADISTICO	VTsc (completo)	VTsc (incompleto)
a	0.34690724 (0.0482)	0.43320630 (0.0486)
b	0.99378516 (0.0215)	0.97944091 (0.0213)
c	0.93053601 (0.0279)	0.93962528 (0.0284)
d	0.04637122 (0.0176)	-
R <sup>2</sup>	0.9931	0.9928
Sxy	30.1330	30.6739
n	170	170

#### vi) Distribución de los Parámetros de Rodal por Especie

La aplicación de los modelos de rendimiento anteriores predice los parámetros de rodal (AB, NHA, DC y VTsc) para todas las especies en conjunto. Sin embargo, para las otras etapas del *Simulador Nothofagus*, es necesario conocer estos mismos parámetros por especie o grupo (Roble, Raulí, Coigue y Otras), esto se realizó mediante una redistribución de las predicciones totales.

La idea original consistió en obtener algunas relaciones de las proporciones de estas variables expresadas como una razón entre el valor del grupo y el total (PNHA<sub>i</sub>, PAB<sub>i</sub> y PDC<sub>i</sub>), pero la escasa disponibilidad de información histórica dasométrica no permitió identificar relaciones claras, salvo una leve tendencia con respecto al aumento de la edad, en donde los PAB<sub>i</sub> crecían y los PNHA<sub>i</sub> disminuían, que sin embargo, no permitió generar modelos adecuados. Por este motivo, se optó por asumir que estas proporciones se mantienen constantes en el tiempo utilizando los valores ingresados o calculados al inicio de la simulación.

La Proporción de Volumen (PVOL<sub>i</sub>) se trató en forma diferente, inicialmente se observó que la proporción de volumen para la especie dominante (PVOL<sub>d</sub>) es en promedio alrededor de un 4% mayor que su proporción de área basal (PAB<sub>d</sub>), por lo que se optó por usar un modelo de la siguiente forma:

$$PVOL_d = -0.01710329 + 1.04253896 PAB_d$$

donde,

PVOL <sub>d</sub>	Proporción de Volumen Total sin corteza de la Especie Dominante (%)
PAB <sub>d</sub>	Proporción de Area Basal de la Especie Dominante (%)

Las proporciones de volumen de las otras especies (PVOL<sub>i</sub>), se obtiene asignando en forma proporcional el PAB<sub>i</sub> de cada una de ellas al PVOL remanente (100 – PVOL<sub>d</sub>).

## B. Obtención de la Tabla de Existencias

Este es el último módulo importante del *Simulador Nothofagus* y se ejecuta una vez obtenidos todos los parámetros de rodal para todas las edades de simulación. Sin embargo, también se incorporó la opción de que el usuario ingrese directamente una Tabla de Rodal desde un inventario de terreno, especificando ya sean las alturas y frecuencias por clase y especie, o sólo las frecuencias, desde donde se usan las funciones internamente incorporadas en el simulador para obtener los diferentes volúmenes por producto.

## i) Generación de Distribuciones Diamétricas

El objetivo principal del uso de las distribuciones diamétricas es que mediante ellas se puede estimar el Número de Árboles que existen por clase diamétrica, éstos valores luego son usados en combinación con modelos de altura individual y ahusamiento para estimar los volúmenes por clase diamétrica o producto, elementos de gran importancia para determinar el valor monetario del bosque. Los valores estimados, también se pueden usar para calcular los volúmenes totales, como los obtenidos por el modelo de rendimiento del Volumen Total sin corteza (VTsc). Ambas estimaciones frecuentemente difieren (como es el caso de este simulador), sin embargo, se considera que la estimación obtenida por el modelo de rendimiento es más exacta, pese a que entrega menos detalles que la otra.

La obtención de las distribuciones diamétricas se basó en el Método de Predicción de Parámetros usando la distribución de probabilidad de tres parámetros de Weibull (Clutter *et al.*, 1983; Gadow y Hui, 1999), cuyo modelo es:

$$f(x) = \left(\frac{C}{B}\right) * \left[\left(\frac{x-A}{B}\right)^{C-1}\right] * \exp \left[\left(\frac{x-A}{B}\right)^C\right]$$

donde,

$f(x)$	Probabilidad evaluada en x
$A$	Parámetro de posición (fijado en 5 cm)
$B, C$	Parámetros de escala y forma, respectivamente

Esta distribución se definió para 2 parámetros, estableciendo el parámetro de posición (A) en un valor fijo de 5 cm, debido a que este es el diámetro menor utilizado en la medición de los árboles. Los otros parámetros fueron obtenidos mediante estimadores de Máxima Verosimilitud para cada una de los grupos Parcela x Especie. Luego, estos fueron analizados eliminándose aquellas parcelas con problemas. En una segunda etapa, se probaron diferentes modelos lineales que relacionaron estos estimadores de la Distribución de Weibull (B y C) con parámetros de rodal por especie o totales (Edad al DAP, IS, HD, AB, DC, NHA, PNHA, RS, etc.) eligiéndose finalmente sólo los modelos que incorporaron aquellas variables con coeficientes significativos al 95% de confianza que se detallan más adelante y en el Cuadros N° 8.

Raulí	$B = b_0 + b_1 DC_{Rauli} + b_2 PNHAN + b_3 / AB_0$	$C = b_0 + b_1 B + b_2 DC_{Rauli}$
Roble	$B = b_0 + b_1 DC_{Roble} + b_2 \ln(RS)$	$C = b_0 + b_1 B + b_2 DC_{Roble} + b_3 / DC_0$
Coigue	$B = b_0 + b_1 DC_{Coigue}$	$C = b_0 + b_1 B + b_2 DC_{Roble} + b_3 / DC_0$
Otras	$B = b_0 + b_1 DC_{Otras} + b_2 NHAN$	$C = b_0 + b_1 B + b_2 DC_{Otras}$

donde,

$DC_i$	Diámetro Cuadrático de la especie i (Raulí, Roble, Coigue, Otras) (cm)
$DC_0$	Diámetro Cuadrático Total (todas las especies) (cm)
$AB_0$	Area Basal Total (m <sup>2</sup> /ha)
RS	Espaciamiento Relativo (%)
NHAN	Número Total de Árboles de <i>Nothofagus</i> (Roble, Raulí y Coigue) (arb./ha)
$b_0...b_3$	Parámetros ha ser estimados

La fórmula utilizada para el Espaciamiento Relativo es:

$$RS_i = 100 * \frac{\sqrt{\frac{10.000}{NHA_i}}}{HD_i}$$

donde,

RS <sub>i</sub>	Espaciamiento Relativo en el año i (%)
NHA <sub>i</sub>	Número de Árboles Totales para el año i (arb./ha)
HD <sub>i</sub>	Altura Dominante para el año i (m)

Cuadro N° 8.- Parámetros y Estadísticos de los Modelos de Parámetros de Weibull

PARAMETRO O ESTADISTICO	RAULI		ROBLE	
	B	C	B	C
b <sub>0</sub>	-4.85344986 (0.4345)	3.41813315 (0.1906)	-8.83509885 (1.0419)	3.57525492 (0.3041)
b <sub>1</sub>	1.03816837 (0.0161)	0.46054858 (0.0319)	1.06360951 (0.0153)	0.39042726 (0.0201)
b <sub>2</sub>	-0.01755607 (0.0035)	-0.42701842 (0.0331)	0.99954695 (0.3912)	-0.36299573 (0.0238)
b <sub>3</sub>	11.88124162 (4.7438)	-	-	-4.83178811 (1.7710)
R <sup>2</sup>	0.9932	0.9037	0.9796	0.8887
Sxy	0.4556	0.1194	1.0775	0.2227
N	44	44	107	111
PARAMETRO O ESTADISTICO	COIGUE		OTRAS	
	B	C	B	C
b <sub>0</sub>	-6.57263098 (0.2577)	5.72487482 (0.3541)	-2.06868340 (0.4387)	2.15124820 (0.0908)
b <sub>1</sub>	1.09071507 (0.0141)	0.64094474 (0.0338)	0.68162016 (0.0332)	0.29765454 (0.0211)
b <sub>2</sub>	-	-0.64908497 (0.0379)	-0.00029245 (0.0001)	-0.22722466 (0.0166)
b <sub>3</sub>	-	-9.04444521 (2.0920)	-	-
R <sup>2</sup>	0.9922	0.9537	0.8724	0.6803
Sxy	0.5529	0.1277	0.7655	0.1642
n	49	49	98	98

El flujo de esta implementación se encuentra en la Figura N° 2, en ella se muestra el uso de los principales parámetros de rodal que fueron anteriormente generados por los modelos de rendimiento para cada edad (ya sean totales o por especie según corresponda), y se calculan algunos adicionales como la Proporción de Árboles de *Nothofagus* (PNHAN) y el Espaciamiento Relativo (RS). Posteriormente, para cada una de las especies presentes en el rodal se estiman los coeficientes de Weibull mediante los modelos del Cuadro N° 8, y se obtienen los árboles por clases diamétricas de 5 cm al multiplicar la siguiente distribución de probabilidad acumulada de Weibull por el Número de Árboles de cada especie:

$$P(d_{\min} \leq DAP < d_{\max}) = \exp \left[ - \left( \frac{d_{\min} - A}{B} \right)^C \right] - \exp \left[ - \left( \frac{d_{\max} - A}{B} \right)^C \right]$$

donde,

$d_{\min}$	Limite inferior de la clase diametrica
$d_{\max}$	Limite superior de la clase diametrica

Una de las dificultades del Método de Predicción de Parámetros es que el Area Basal calculado desde la distribución diamétrica no coincide con el Area Basal desde la cual se obtuvieron los parámetros (generada por modelos de rendimiento), esto debido a que los parámetros de Weibull son estimados indirectamente con errores inherentes a los modelos usados. Es por este motivo, que en el *Simulador Nothofagus* se incorporó una corrección de la distribución diamétrica generada, debido a que las diferencias normalmente eran pequeñas, la corrección es simple y sólo se basa en la aplicación de un ponderador a todas las clases basado en la razón entre el Area Basal obtenida por la distribución diamétrica y el originalmente utilizado (AB<sub>0</sub>).

## ii) Estimación de las Alturas por Clase Diamétrica

El simulador genera para cada uno de los diámetros clase de las distribuciones anteriormente obtenidas una estimación de Altura Total Individual (HT), para ser posteriormente utilizadas junto al DAP clase en las funciones de ahusamiento a fin de calcular los volúmenes por clase. Los modelos parametrizados de altura que fueron previamente ajustados por el proyecto para cada grupo Especie x Zona de Crecimiento (Moreno y Gezan, 2000b) se muestran más adelante junto a sus parámetros:

$$F0. \quad HT = b_0 + b_1 HD + b_2 DC^{0.95} + b_3 \exp(b_4 DAP) + b_5 HD^3 \exp(b_4 DAP) + b_6 DC^3 \exp(b_4 DAP)$$

$$F1. \quad HT = b_0 + b_1 HD + b_2 DC^{0.95} + b_3 \exp(-0.08 DAP) + b_4 HD^3 \exp(0.08 DAP) + b_5 DC^3 \exp(-0.08 DAP)$$

donde,

HT	Altura Total del arbol clase (m)
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho del árbol clase (cm)
HD	Altura Dominante de la Especie Dominante (m)
DC	Diámetro Cuadrático del total de las especies (cm)
$b_0...b_6$	Parámetros ha ser estimados

Cuadro N° 9.- Parámetros de los Modelos de Altura Parametrizada

ZONA	ESP.	F	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	N
1	Raulí	1	5.5376528	0.79345322	0.045889993	-11.460181	-0.000579062	-0.000530055	-	400
	Roble	1	6.7715419	0.73644933	0.11208508	-12.725946	-0.000486763	-0.001347591	-	300
	Coigue	1	5.1584705	0.73333873	0.11016634	-9.831405	-0.000669576	-0.001050662	-	182
2	Raulí	1	1.3115909	1.0537924	-0.10914058	-8.8583236	-0.000960942	-0.000293241	-	151
	Roble	1	3.7050934	1.0382325	-0.15871921	-11.0617	-0.00110801	-0.000246154	-	495
	Coigue	1	5.9684005	0.82622257	-0.1466055	-12.414283	-0.00060517	-0.00042353	-	49
3	Roble	1	3.6338967	0.90165108	0.028996612	-7.8153418	-0.001041428	-0.000434796	-	233
	Coigue	1	6.8098609	0.79999337	-0.093705083	-11.438595	-0.000724468	-8.70905E-05	-	121
4	Raulí	1	8.621635	1.060004	-0.63095365	-12.328377	-0.00116886	0.00061873	-	163
	Roble	1	3.3075598	1.1073476	-0.27128971	-9.2708338	-0.001272233	0.000243769	-	268
	Coigue	1	4.5258233	1.0498361	-0.28822972	-9.9605142	-0.001169715	0.000170688	-	148
Todas	Otras	0	-8402.1513	0.49183198	-0.53209945	8404.7755	4.03153E-05	-0.000129365	0.000242008	289

Al igual que con el Area Basal en las distribuciones diamétricas, el cálculo de la Altura Dominante (HD) mediante las estimaciones de alturas de los 100 árboles más gruesos a partir de las funciones anteriores difiere del valor original, por lo que se realiza una corrección basada en la aplicación de un factor a todas las clases que se calcula mediante la razón entre la Altura Dominante calculada y la utilizada originalmente (desde la Curva de Altura Dominante).

## iii) Estimación de los Volúmenes por Clase y Producto

El último paso para contar con las Tablas de Existencias es la estimación de los volúmenes totales o por producto para cada clase y especie. Para esto se utilizaron funciones de ahusamiento previamente ajustadas por cada grupo Especie x Zona de Crecimiento, las que se muestran a continuación. Para más detalles de los procedimientos de ajuste, características de los datos y modelos utilizados se recomienda revisar Gezan y Moreno (2000b).

$$M4 \quad y = b_0 x^{1.5} + b_1 (x^{1.5} - x^3) \text{ DAP} + b_2 (x^{1.5} - x^3) \text{ HT} + b_3 (x^{1.5} - x^{32}) \text{ DAP HT} + b_4 (x^{1.5} - x^{32}) \text{ HT}^{0.5} + b_5 (x^{1.5} - x^{40}) \text{ HT}^2 \\ y = (d / \text{DAP})^2; x = (\text{HT} - h) / (\text{HT} - 1.3)$$

$$M5 \quad y = b_0 + b_1 \ln(\text{DAP}) + b_2 \text{DAP} + b_3 \ln(x) z^2 + b_4 \ln(x) \ln(z) + b_5 \ln(x) z^{0.5} + b_6 \ln(x) \exp(z) + b_7 \ln(x) (\text{DAP}/\text{HT}) \\ y = \ln(d); p = 0.2; z = h/\text{HT}; x = (1 - z^{0.5}) / (1 - p^{0.5})$$

$$M6 \quad y = b_0 + b_1 \ln(\text{DAP}) + b_2 \ln(x) z^2 + b_3 \ln(x) \ln(z) + b_4 \ln(x) (\text{DAP}/\text{HT}) \\ y = \ln(d); p = 0.2; z = h/\text{HT}; x = (1 - z^{0.5}) / (1 - p^{0.5})$$

donde,

DAP                      Diámetro a la Altura del Pecho (cm)  
HT                        Altura Total del árbol (m)  
d                          Diámetro sin corteza de la sección (cm)  
h                          Altura de la sección (m)  
b<sub>0</sub>...b<sub>7</sub>                Parámetros ha ser estimados

Cuadro N° 10.- Parámetros de las Funciones de Ahusamiento Ajustados

SP	ZONA	M	PARÁMETROS							
			b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
Raulí	1	6	-0.19392205	0.99342476	0.58748585	-0.056864102	0.20239942	-	-	-
	2	5	0.40146938	0.72910704	0.010131845	2.1366375	-0.45997939	4.2432409	-2.2077538	0.21051668
	4	4	0.81559899	-0.009002662	0.025024262	-6.29E-06	0.010222988	-0.000143768	-	-
	Todas	5	0.043384101	0.88657485	0.004460521	1.978196	-0.40676847	3.5081552	-1.8417707	0.19647175
Roble	1	5	0.159219	0.85260316	0.004780793	1.1150748	-0.19946861	1.7573285	-0.96843261	0.37186114
	2	4	0.8046971	-0.023393214	0.042335723	6.91E-05	0.011674756	-0.000212514	-	-
	3	5	-0.10472826	1.0382903	-0.008250946	2.6750499	-0.66232965	6.1614054	-3.1964698	0.26879337
	4	5	-0.2034267	1.0359287	-0.002515543	2.004339	-0.42467135	3.81264	-1.9962607	0.23190876
	Todas	5	-0.22514226	1.0584813	-0.005441275	1.8758412	-0.42940975	3.8929903	-2.0120877	0.24514614
Coigue	1	5	0.30601932	0.78408752	0.007412901	4.1366507	-1.0254123	9.5536448	-4.9352651	0.11768003
	2	5	0.26399197	0.8514097	0.001365738	2.9729249	-0.57391954	5.3295274	-2.944586	0.36806403
	3	4	0.82269028	-0.051740493	0.070862432	0.000140696	-0.001690498	-0.000178643	-	-
	4	5	0.23818537	0.82996489	0.005103736	1.9113323	-0.37872755	3.6245841	-1.8977191	0.25289679
	Todas	5	0.14474418	0.89155702	0.000744165	2.5911831	-0.60212452	5.7524968	-2.9507866	0.20273874

Las funciones anteriores fueron usadas junto a una Tabla de Productos previamente existente en el simulador que puede ser modificada por el usuario, y que define cada producto de acuerdo a su diámetro mínimo de utilización y largo de troza.

## 6. SALIDAS DEL SIMULADOR

En el diseño del *Simulador Nothofagus* se incorporaron tanto salidas gráficas como numéricas. Las salidas numéricas se dividen en Planillas o Informes. En ambas salidas, se muestran tanto para el total de las especies como para cada una (Roble, Raulí, Coigue y Otras) los resultados de la Proyección de un rodal con las variables principales, las Tablas de Rodal y los volúmenes por producto, especie y clase diamétrica. Una particularidad de los Informes es que estos se pueden imprimir o guardar como un archivo en formato ASCII para uso posterior. Con relación a las salidas gráficas, existe una opción de graficar en forma posterior a la proyección cualquier combinación de parámetros de rodal que se desee, además, en otro módulo se pueden graficar las distribuciones diamétricas como histogramas. En ambos casos, existe la opción de seleccionar alguna especie o el total de ellas, además de poder imprimir y/o guardar los gráficos generados.

## 7. RESTRICCIONES Y FUTURAS MEJORIAS

Algunos de los supuestos y restricciones del simulador fueron anteriormente descritas. Sin embargo, la principal restricción que existe tiene relación con el rango de los datos usados para el ajuste, dentro de los cuales se recomienda realizar las simulaciones de los rodales ingresados (ver Cuadro N° 11). El uso de valores inferiores o superiores significa realizar extrapolaciones, las cuales pueden generar resultados erróneos o irreales en algunos casos. La principal restricción que se debe mantener siempre en consideración tiene relación con la Edad al DAP, la cual debe encontrarse siempre entre los 15 y 80 años.

Cuadro N° 11. – Rango de Simulación

PARAMETRO	Mínimo	Máximo
AB Total (m <sup>2</sup> /ha)	10	80
AB Nothofagus (m <sup>2</sup> /ha)	9	80
NHA (arb./ha)	300	5.500
NHA Nothof. (arb./ha)	300	5.500
DC (cm)	7	60
HD (m)	8	40
Edad al DAP (años)	15	80
IS (m)	4	22

La versión actual del Simulador representa la primera implementación seria que considera el uso de los datos disponibles, esta versión requiere ser utilizada y criticada por los usuarios a fin de detectar y posteriormente mejorar algunas inconsistencias que se presenten. Una primera revisión inicial permitió detectar diferencias importantes entre las estimaciones de volúmenes por clases a partir de la distribución diamétrica y las generadas por la función de rendimiento de volumen total, la que en versiones posteriores deberá ser corregida.

Además, en el futuro con la incorporación de nuevas mediciones, varios módulos y funciones podrán ser modificadas como las funciones de sitio y ahusamiento, las que permitirán mejorar las predicciones a nivel de Zona o Subzona de Crecimiento, y si la información lo permite, será posible transformar todo el Modelo de Rendimiento en uno de Crecimiento o mixto. Por otro lado, la información actualmente disponible permite generar un módulo de raleo únicamente para la especie Raulí, en una área geográfica y zona de respuesta limitada, en el futuro con nuevos resultados de otros ensayos de raleo y/o parcelas con manejo se podrá desarrollar un módulo de raleo para todas las especies y Zonas de Crecimiento.

Existen algunos módulos de más fácil implementación a corto plazo que pueden ser desarrollados en nuevas versiones, como es el Módulo Económico que permitiría incorporar antecedentes de cosecha, transporte, inversión, etc., para luego calcular los retornos económicos futuros esperados.

## 8. CONCLUSIONES

En el presente documento se describieron las principales características del funcionamiento y de los modelos incorporados en la primera versión del *Simulador Nothofagus*, de este modo, los objetivos inicialmente planteados por Proyecto FONDEF D97I1065 fueron cumplidos. Sin embargo, como era de esperar surgieron una serie de dificultades, especialmente con relación a la recuperación y generación de nueva información. Las limitantes de información tanto en calidad como cantidad para algunos o varios aspectos no permitieron que el *Simulador Nothofagus* cumpliera con todas las características que



originalmente se deseaban de él, muchas de estas tendrán que esperar hasta que nuevas mediciones se realicen, y estas sean incorporadas como nuevos parámetros, funciones o módulos. De todos modos, este nuevo simulador y muchos de los resultados intermedios del proyecto constituyen una herramienta de utilidad para otros usos o estudios futuros, por lo que se recomienda revisar los diferentes documentos disponibles.

El *Simulador Nothofagus* constituye el primer intento de envergadura para modelar el desarrollo de especies nativas chilenas, y se espera que su uso permita reducir el nivel de incertidumbre de estos bosques, a fin de que propietarios de bosques se incentiven a manejar sus bosques naturales con un retorno económico asegurado.

## 9. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CONICYT, que a través de FONDEF financió gran parte de las actividades relacionadas con este proyecto. También, se agradece a las empresas y organismos participantes, especialmente al personal de CONAF e INFOR que con su aporte en información y apoyo de terreno permitió cumplir exitosamente los objetivos planteados, y a todas las personas de terreno y laboratorio que participaron de alguna o todas las etapas, especialmente a Paulo Moreno, Marcelo Farías y Kareen Escobar.

## 10. BIBLIOGRAFIA

**Clutter, J.L.; Forston, J.C.; Pienaar, L.; Brister, G.H. y Bailey, R.L. 1983.** Timber Management: A Quantitative Approach. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida. 333 p.

**CONAF. 1998.** Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile.

**Gadow, K. v. y Hui, G. Y. 1999.** Modelling Forest Development. Kluwer Academic Publishers. 213 p.

**Gezan, S. 1998.** Manual N° 1. Procedimientos de Re-Medición Parcelas de Inventarios del Catastro. Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.

**Gezan, S. 1999a.** Definición de una Zonificación Base para Rodales de Roble (*Nothofagus obliqua*), Raulí (*Nothofagus alpina*) y Coigue (*Nothofagus dombeyi*). Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.

**Gezan, S. 1999b.** Establecimiento y Medición de una Red de Parcelas Permanentes para Renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*), Raulí (*Nothofagus alpina*) y Coigue (*Nothofagus dombeyi*). Universidad Austral de Chile.

**Gezan, S. y Moreno, P. 1999.** Manual N°2. Procedimientos de Medición Red de Parcelas Temporales. Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.

**Gezan, S. y Muñoz, S. 1999.** Reasignación de Estratos en Renovales de Roble, Raulí y Coigue. Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.

- Gezan, S. y Moreno, P. 2000a.** Curvas de Sitio – Altura Dominante para Renovales de Roble, Raulí y Coigue. Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.
- Gezan, S. y Moreno, P. 2000b.** Generación de Modelos de Ahusamiento para Roble, Raulí y Coigue. Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.
- Moreno, P. y Gezan, S. 2000a.** Modelos de Volumen para Roble, Raulí y Coigue. Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.
- Moreno, P. y Gezan, S. 2000b.** Modelos Parametrizados de Altura para Roble, Raulí y Coigue. Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.
- Ortega, A. y Gezan, S. 1998.** Elementos de Análisis. Documento Interno Proyecto FONDEF D97I1065 "*Software Nothofagus*". Universidad Austral de Chile.

Figura N° 1.- Flujo Principal del Simulador

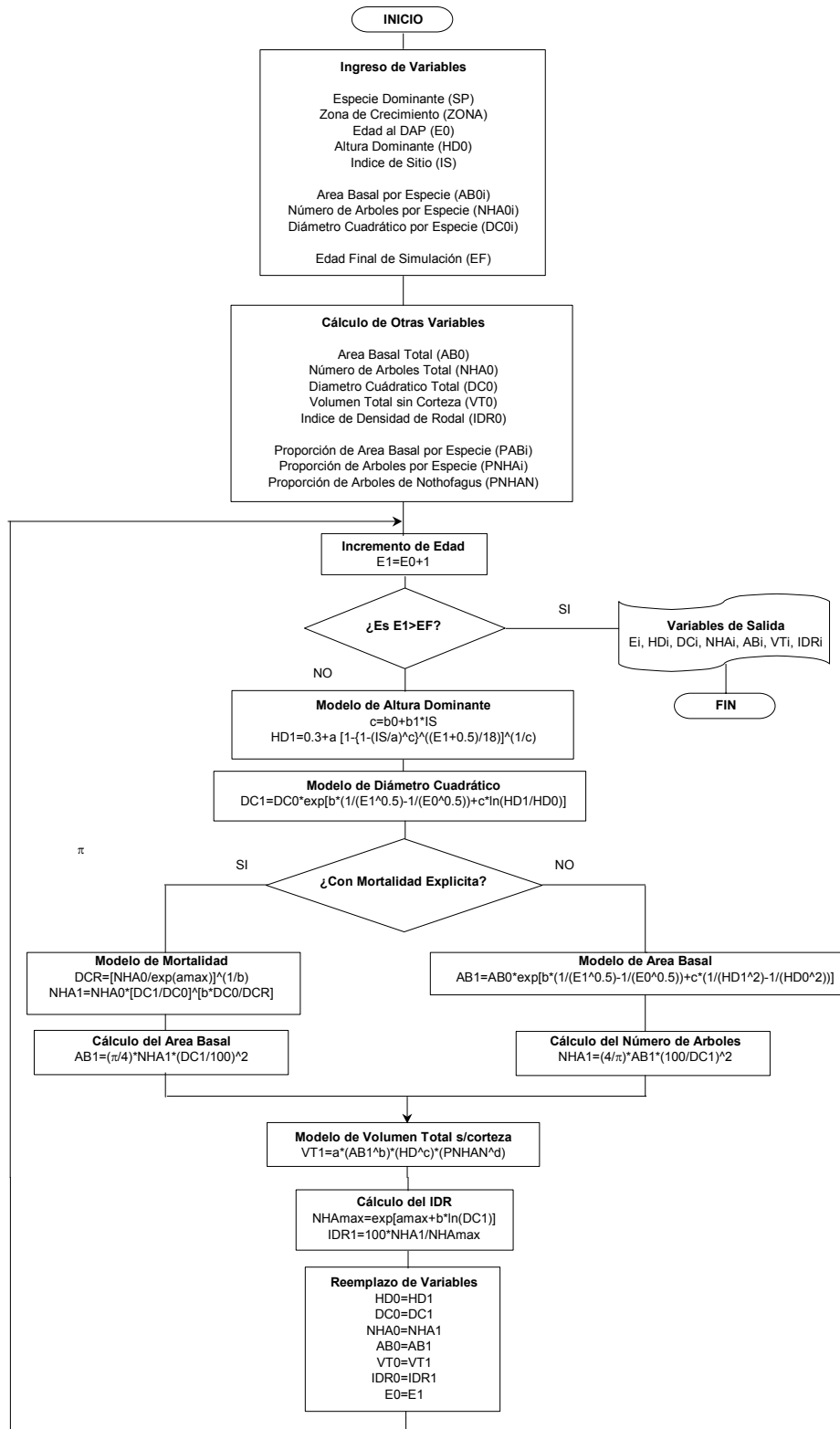


Figura N° 2.- Flujo de Generación de Distribución Diamétrica

