

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

**FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO Y SIMULADOR DE TROZADO**  
**PARA *Sequoia sempervirens* (D.Don) Endl.**

**Memoria para optar al Título**  
**Profesional de Ingeniero Forestal**

**ROBERTO EDUARDO HERNÁNDEZ ESPINOZA**

**Profesor Guía: Ing. Forestal, Sr. Manuel Toral Ibáñez**  
**Profesor de Estado en Matemáticas, Magíster en Educación, Sr. Dante Haro B.**

**SANTIAGO – CHILE**

**2004**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

**FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO Y SIMULADOR DE TROZADO**  
**PARA *Sequoia sempervirens* (D.Don) Endl.**

**Memoria para optar al Título**  
**Profesional de Ingeniero Forestal**

**ROBERTO EDUARDO HERNÁNDEZ ESPINOZA**

<b>Calificaciones:</b>	<b>Nota</b>	<b>Firma</b>
<b>Profesores Guías:</b>		
<b>Sr. Manuel Toral I.</b>	<b>6,9</b>	.....
<b>Sr. Dante Haro B.</b>	<b>6,6</b>	.....
<b>Profesores Consejeros:</b>		
<b>Sr. Jaime Hernández P.</b>	<b>6,4</b>	.....
<b>Sr. Patricio Pedernera A.</b>	<b>6,8</b>	.....

**SANTIAGO – CHILE**

**2004**

## **DEDICATORIA**

**A mis Padres Vivian y Roberto, por darme educación, apoyo y comprensión, a mis hermanos Andrés, Carolina, José y Vivian por confiar en mí y entregarme su cariño.**

**A todos ellos por ser la base de mis logros.**

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a las siguientes personas que permitieron llevar a cabo esta meta:

A mis profesores guías Don Manuel Toral y Don Dante Haro por el tiempo dedicado y sus consejos.

A mis profesores consejeros Don Jaime Hernández y Don Patricio Pedernera por sus desinteresados consejos.

A mi familia Roberto, Vivian, Andrés, Carolina, José, Vivian, Álvaro y Sebastián por permitirme entregarles mi afecto y comprender mis sueños, muchas gracias.

A mis amigos Ignacio Ibarra, Loreto Lathrop, Alberto Loncomilla y Rodrigo Ortiz, por sus consejos y amistad incondicional, muchísimas gracias.

A los amigos que conocí en la universidad y que seguiré manteniendo por siempre, con los cuales comparto la mayor parte de mis sueños Piero Caviglia, Ismael Bravo, Gabriela Lledó, Oscar Spichiger, Gonzalo Guerra, Francisca Toro, Alejandro Rojas y Cristian Castañeda.

A la tía Victoria Orden por su apoyo y ayuda durante mis años de universidad.

A la persona que me ayudó en la obtención del material para este estudio Álvaro González, muchas gracias.

Al Proyecto Fondef D01 I 1008, por que sin su apoyo este estudio no se hubiera realizado.

Gracias a todas las personas que estuvieron el momento justo de mi vida, que me ayudaron a ser la persona que soy en este momento.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
TABLA DE CONTENIDOS .....	iii
INDICE DE TABLAS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	xi
SUMMARY .....	xiii
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2 USOS DE LA MADERA DE SECOYA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.3 FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>3.4 SIMULACIÓN DE TROZADO .....</b>	<b>7</b>
<b>4 MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1 MATERIAL .....</b>	<b>10</b>
<b>4.2 MÉTODO.....</b>	<b>10</b>
4.2.1 ANÁLISIS DE TALLO .....	10
4.2.2 FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO .....	12
4.2.3 SIMULADOR DE TROZADO .....	17
4.2.4 VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO DE TROZADO.....	20
<b>5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.....</b>	<b>21</b>

<b>5.2 RELACIÓN DE CORTEZA.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3 RELACIÓN DE DURAMEN.....</b>	<b>23</b>
<b>5.4 AJUSTE DE LOS MODELOS DE AHUSAMIENTO .....</b>	<b>25</b>
5.4.1    MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 1 .....	25
5.4.2    MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 2 .....	26
<b>5.5 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE AHUSAMIENTO .....</b>	<b>28</b>
5.5.1    VALIDACIÓN DE LOS MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 1: ESTIMACIÓN DE DIÁMETROS.....	28
5.5.2    VALIDACIÓN DE LOS MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 2: ESTIMACIÓN DE DIÁMETROS.....	30
5.5.3    VALIDACIÓN DE LOS MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 1: ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES .....	32
5.5.4    VALIDACIÓN DE LOS MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 2: ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES .....	34
<b>5.6 CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR .....</b>	<b>36</b>
5.6.1    DISEÑO DEL SIMULADOR SEQUTROZ 1.0 .....	36
<b>5.7 VARIABLES DE ENTRADA .....</b>	<b>38</b>
5.7.1    ESQUEMA DE TROZADO .....	38
5.7.2    ETAPA DE CRECIMIENTO .....	39
5.7.3    VARIABLES DASOMÉTRICAS .....	40
<b>5.8 VALIDACIÓN DEL SIMULADOR SEQUTROZ 1.0 .....</b>	<b>40</b>
<b>5.9 VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO DE TROZADO .....</b>	<b>42</b>
5.9.1    SELECCIÓN DE ÁRBOLES PARA EL PROCESO DE TROZADO .....	42
5.9.2    PROCESO DE TROZADO .....	43
5.9.3    RENDIMIENTO DEL PROCESO DE TROZADO .....	48
5.9.4    INGRESO OBTENIDO DEL PROCESO DE TROZADO .....	49

<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>52</b>
6.1	CONCLUSIONES PRINCIPALES.....	52
6.2	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	53
6.2.1	ÁRBOLES ENTRE 1 Y 20 AÑOS DE EDAD .....	53
6.2.2	ÁRBOLES MAYORES A 20 AÑOS DE EDAD .....	53
6.2.3	SIMULADOR DE TROZADO SEQTROZ 1.0 .....	54
<b>7</b>	<b>LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
7.1	LIMITACIONES .....	55
7.2	RECOMENDACIONES .....	55
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>APÉNDICES .....</b>	<b>60</b>
9.1	HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA POR CLASES DIÁMETRICAS.....	61
9.2	FORMA FUSTAL DE LAS CLASES DE EDAD ANALIZADAS .....	63
9.3	TEST DE “DIFERENCIAS DE MEDIAS” .....	64
9.4	MANUAL DE USUARIO PARA SEQTROZ 1.0 .....	65
9.4.1	INGRESO A SEQTROZ 1.0.....	65
9.4.2	INGRESAR EL ESQUEMA DE TROZADO .....	66
9.4.3	SELECCIÓN DE ETAPA DE CRECIMIENTO .....	68
9.4.4	INGRESO DE INFORMACIÓN DASOMÉTRICA DEL ÁRBOL A TROZAR ..	68
9.4.5	PROCESO DE TROZADO .....	69
9.5	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ASOCIADO AL SIMULADOR DE TROZADO SEQTROZ 1.0.....	72
9.5.1	SEQTROZ.FRM .....	72
9.5.2	SALIR.FRM.....	72
9.5.3	ESQUEMA.FRM .....	72

9.5.4	EDAD.FRM .....	73
9.5.5	DATOS.FRM.....	73
9.5.6	RESULTADOS.FRM.....	79
9.5.7	SALIR2.FRM.....	79
9.5.8	VARIABLES.BAS.....	79
<b>10</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>81</b>
	<b>10.1METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL AJUSTE DEL MODELO DE FRAZER. ...</b>	<b>82</b>



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las muestras utilizadas para el ajuste de los modelos de ahusamiento. ....	21
Tabla 2. Resumen de las muestras utilizadas para la validación de los modelos de ahusamiento. ....	21
Tabla 3. Resultados del análisis de regresión para la relación de corteza.....	22
La relación final se muestra a continuación en la Tabla 4. ....	22
Tabla 4. Relación de corteza. ....	22
Tabla 5. Resultados del análisis de regresión para la relación de duramen.....	23
Tabla 6. Relación de Duramen. ....	24
Tabla 7. Parámetros estimados para los modelos generales. ....	25
Tabla 8. Modelo de Bruce. ....	25
Tabla 9. Modelo de Coffré.....	25
Tabla 10. Parámetros estimados para los modelos generales. ....	26
Tabla 11. Modelo de Bruce. ....	27
Tabla 12. Modelo de Coffré.....	27
Tabla 13. Resultados de la Validación Global, clase de edad 1.....	28
Tabla 14. Resultados de la Validación de los modelos, en la estimación de diámetros sin corteza, por altura de troza. ....	29
Tabla 15. Resultados de la Validación Global, clase de edad 2.....	30
Tabla 16. Resultados de la Validación de los modelos, en la estimación de diámetros sin corteza, por altura de troza. ....	31
Tabla 17. Resultados de la Validación Global, clase de edad 1.....	32
Tabla 18. Resultados de la Validación de los modelos, en la estimación de volúmenes por troza. ....	33
Tabla 19. Resultados de la Validación Global, clase de edad 2.....	34

Tabla 20. Resultados de la Validación de los modelos, en la estimación de volúmenes por troza. ....	35
Tabla 21. Esquema de trozado.....	38
Tabla 22. Etapas de crecimiento utilizadas en el simulador de trozado.....	39
Tabla 23. Árboles trozados para validar SEQUTROZ 1.0.....	40
Tabla 24. Resultado del trozado para validar SEQUTROZ 1.0. ....	41
Tabla 25. Árboles seleccionados para el trozado, ordenados por clase de edad.....	42
Tabla 26. Resultados del trozado: Número de trozas.....	43
Tabla 27. Resultados del trozado: Cálculo de volúmenes. ....	45
Tabla 28. Resumen del trozado. Comparación entre planilla de cálculo y Sequtroz 1.0. ....	46
Tabla 29. Representación de cada producto por clase de edad.....	47
Tabla 30. Rendimiento del trozado. Comparación entre planilla de cálculo y Sequtroz 1.0. ....	49
Tabla 31. Valoración económica del proceso de trozado.....	50
Tabla 32. Estadísticos de Clase de Edad 1.....	64
Tabla 33. Prueba de muestras independientes de la Clase de Edad 1.....	64
Tabla 34. Estadísticos de Clase de Edad 2.....	64
Tabla 35. Prueba de muestras independientes de la Clase de Edad 2.....	64
Tabla 36. Valor de los parámetros del modelo en función de $\alpha$ , $\theta$ y $\varepsilon$ . ....	83
Tabla 37. Modelo de Frazer en función de $\alpha$ , $\theta$ y $\varepsilon$ . ....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de trozas de un árbol. ....	17
Figura 2. Relación de corteza. Valores observados versus estimados. ....	23
Figura 3. Comparación entre volumen de duramen observado versus el estimado con la relación de duramen. ....	24
Figura 4. Estadígrafos de sesgo y error para la validación de la estimación de diámetros para árboles entre 1 y 20 años. ....	29
Figura 5. Gráfico de los estadígrafos de sesgo y error para la validación de la estimación de diámetros para árboles mayores a 20 años. ....	31
Figura 6. Gráfico de los estadígrafos de sesgo y error para la validación de la estimación de volúmenes para árboles entre 1 y 20 años. ....	34
Figura 7. Gráfico de los estadígrafos de sesgo y error para la validación de la estimación de volúmenes para árboles mayores a 20 años. ....	35
Figura 8. Diseño del simulador de trozado SEQUTROZ 1.0. ....	37
Figura 9. Análisis gráfico del proceso de trozado, considerando el número de trozas por clase de edad. ....	44
Figura 10. Comparación entre volúmenes por producto obtenidos en Planilla de cálculo y simulador SEQUTROZ 1.0. ....	45
Figura 11. Productos obtenidos según DAP. ....	48
Figura 12. Histograma de la muestra para el ajuste de la clase de edad 1. ....	61
Figura 13. Histograma de la muestra para la validación de la clase de edad 1. ....	61
Figura 14. Histograma de la muestra para el ajuste de la clase de edad 2. ....	62
Figura 15. Histograma de la muestra para la validación de la clase de edad 2. ....	62
Figura 16. Forma fustal de la Clase de edad 1. ....	63
Figura 17. Forma fustal de la Clase de edad 2. ....	63
Figura 18. Icono del simulador de trozado SEQUTROZ 1.0. ....	65

<b>Figura 19. Ventana de presentación del simulador SEQUTROZ 1.0.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 20. Ventana de salida de SEQUTROZ 1.0.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 21. Esquema de trozado que entrega por defecto SEQUTROZ 1.0. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 22. Esquema de trozado para productos con otras características.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 23. Selección de etapa de crecimiento.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 24. Ingreso de Datos dasométricos del árbol a trozar.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 25. Ventana resumen del proceso de simulación del trozado. ....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 26. Ventana de salida de SEQUTROZ 1.0.....</b>	<b>70</b>

## RESUMEN

Toda actividad forestal exige de información precisa para fundamentar correctamente la toma de decisiones; es en este punto, donde la simulación de procesos es muy útil, para obtener información sin tener que esperar largos períodos de tiempo.

Cualquier proceso de simulación, requiere información real para su construcción, la que debe ser muy consistente en su obtención, ya que los resultados dependen directamente del nivel de veracidad de la información disponible.

En este contexto, para que sea posible simular el trozado de árboles de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl., “Secoya” o “Alerce americano”, en primer lugar se debe conocer la forma fustal de la especie a lo largo de su desarrollo.

En este estudio, se realizó la modelación de la forma fustal utilizando tres modelos ya conocidos, éstos fueron Coffré, Frazer y Bruce. Para el ajuste de éstas funciones se utilizaron dos etapas de crecimiento, la primera consideraba los árboles con edad entre 1 y 20 años, y la segunda etapa a todos los árboles mayores a 20 años.

Se realizó un análisis de tallo a 36 árboles de secoya obtenidos de diferentes localidades del país, para poder obtener la forma fustal a lo largo de su desarrollo.

El ajuste Cofre y Bruce se realizó mediante regresión no lineal, utilizando el método Cuasi-Newton, el cual minimiza la suma de los cuadrados. El modelo de Frazer, se ajusto mediante tres iteraciones, mediante las cuales se logro encontrar un par de valores de cambio de forma ( $\theta$  y  $\varepsilon$ ), que permiten reducir la suma de los cuadrados.

Los modelos ajustados fueron evaluados según su capacidad predictiva en la estimación de diámetros y volúmenes a cualquier altura del fuste, comparando los estadígrafos Diferencia Agregada (DA), Error Medio Absoluto (EMA) y la Raíz Cuadrada del Error Medio Cuadrático (REMC). De este análisis se concluyó que para las dos etapas de crecimiento y para ambas estimaciones el mejor modelo es Bruce.

Este modelo fue utilizado, en la construcción del simulador de trozado denominado SEQUTROZ 1.0, el cual utilizando la forma fustal mejora el rendimiento de trozado. Para esto, es necesario conocer el esquema de trozado con las características de los productos a obtener (Remanufactura, Aserrable y Polines), además de las variables DAP, HT y etapa de crecimiento del árbol a trozar.

Se seleccionaron clases de edad cada 5 años, donde en cada clase se trozaron 2 ejemplares.

La información resultante del simulador, fueron comparados con los obtenidos realizando el mismo proceso en una planilla de cálculo. Realizado esto, se apreció una concordancia en la estimación del número de trozas del 100%, esto debido en que ambas estimaciones se utilizó la función de ahusamiento previamente ajustada para la obtención de la altura de corte.

En la estimación de volúmenes el simulador entregó valores más coherentes, en cambio, sin utilizar la forma fustal los volúmenes obtenidos fueron sobre dimensionados.

La distribución de las trozas en los diferentes productos ocurrió de la siguiente manera, el 11% de las trozas obtenidas corresponden a producto Remanufactura, el 41% son trozas Aserrables y por último el 48% son trozas del producto Polines.

Al analizar el comportamiento del volumen, ocurre lo contrario, pocas trozas de Remanufactura acapararon el 59% del volumen útil total, seguido por las trozas Aserrables con el 32%, y finalmente las trozas para Polines sólo obtuvieron el 9% del volumen útil total.

Se obtuvo una relación de albura-duramen, con la cual se puede concluir que del volumen total de un árbol de secoya, el 49,9% corresponde a madera de duramen y el resto (50,1%) a madera de albura.

## SUMMARY

All forest activity demands from precise information to base the correctly taking of decisions; it is in this point, where the simulation of processes is very useful, to obtain information without having to wait long periods of time.

Any simulation process, it requires real information for their construction, the one that should be very consistent in their obtaining, since the results depend directly on the level of precision of the available information.

In this context, so that it is possible to simulate the log making of trees of *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl., "Redwood" or "American Larch-tree", in the first place one should know the form stem of the species along their development.

In this study, it was carried out the model of the form stem already using three models well-known, these were Coffré, Frazer and Bruce. For the adjustment of these functions two stages of growth were used, the first one considered the trees with age among 1 and 20 years, and the second stage to all the bigger trees to 20 years.

It was carried out a stem analysis to 36 obtained redwood trees of different towns of the country, to be able to obtain the form stem along their development.

The adjustment Coffre and Bruce was carried out by means of non lineal regression, using the method Quasi-Newton, which minimizes the sum of the squares. The Frazer model, you adjusts by means of an iteration where you permit to find a couple of values of form change ( $\theta$  and  $\varepsilon$ ) that allow to reduce the sum of the squares.

The adjusted models were evaluated according to their predictive capacity in the estimate of diameters and volumes to any height of the stem, comparing the statisticians Added Difference (D.A.), Half Absolute Error (E.M.A.) and the Square Root of the Half Quadratic Error (R.E.M.C.). Of this analysis you concluded that for the two stages of growth and for both estimates the best model is Bruce.

This model was used, in the construction of the simulator of log making denominated SEQUTROZ 1.0, which using the form stem improves the log making yield. For this, it is necessary to know the log scheme with the characteristics of the products to obtain (Remanufactura, Aserrable and Polines), besides the variable DBH (Diameter Breast Height), TH (Total Height) and stage of growth of the tree to log making.

Age classes every 5 years they were selected, where in each class you log making 2 trees.

The resulting information of the simulator, they were compared with those obtained carrying out the same process in a calculation schedule. Carried out this, you appreciate an agreement in the estimate of the number of logs of 100%, this in that both estimates the taper equation of previously adjusted was used for the obtaining of the court height.

In the estimate of volumes the simulator gave more coherent values, on the other hand, without using the form stem the obtained volumes they were overestimated.

The distribution of the logs in the different products happened in the following way, 11% of the obtained logs corresponds to product Remanufactura, 41% is logs Aserrables and lastly 48% is logs of the product Polines.

When analyzing the behavior of the volume, it happens the opposite, few logs of Remanufactura they monopolized 59% of the total useful volume, continued by the logs Aserrables with 32%, and finally the logs for Polines only obtained 9% of the total useful volume.

A relationship was obtained of whiteness-duramen, with which you can conclude that of the total volume of a redwood tree, 49,9% corresponds to duramen wood and the rest (50,1%) to wood of whiteness.



## 1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo del sector forestal chileno se ha basado en gran parte de plantaciones con especies exóticas.

Las características principales que deben tener estas especies para que sean consideradas para plantaciones son un rápido crecimiento y una alta productividad. Las especies más utilizadas en Chile, corresponden a *Pinus radiata* D. Don “pino insigne” y a *Eucalyptus* sp., siendo utilizado principalmente por su valor económico el *Eucalyptus globulus* Labill. “eucalipto”. Estas dos especies concentran el 92 % del total de plantaciones forestales en Chile (INFOR, 1997).

La concentración de las plantaciones forestales en pocas especies y la alta competitividad de los mercados internacionales, permiten que la diversificación forestal o la creación de bosques de alto valor sea una herramienta de diferenciación muy utilizada. Una de las tantas especies forestales de alto valor que puede participar en este proceso de diversificación forestal es *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. “Secoya o Alerce americano”.

En efecto, Ramírez (2002) establece que “Como alternativa para la diversificación, esta especie, de rápido crecimiento y de preciada madera en los mercados internacionales, tiene condiciones apropiadas para su efectivo establecimiento en Chile”. Al mismo tiempo, agrega que “Secoya se establece muy bien entre el sur del Golfo de Arauco (VIII Región), hasta el norte de Chiloé (X Región), por encontrar condiciones favorables para su crecimiento, pudiendo lograr rotaciones entre 30 y 35 años obteniendo madera de buena calidad”.

Por otra parte, su madera es considerada como una de las más valiosas internacionalmente, siendo utilizada para diversos fines como chapas, muebles e incluso en la producción de pulpa.

El sector forestal chileno se ha basado principalmente en pino insigne, por lo que existe suficiente información de esta especie. En cambio para secoya, la información técnica es muy escasa.

Dado lo anterior, se hace indispensable el desarrollo de la investigación en esta especie y así lograr que secoya sea reafirmada como una alternativa para el sector forestal chileno.

## 2 OBJETIVOS

El estudio que se pretende desarrollar tiene por objetivo estimar una función de ahusamiento para construir un simulador de trozado de los árboles de secoya que crecen en Chile.

Para cumplir este objetivo se realizarán las siguientes actividades:

- Estimar una función de ahusamiento adecuada al crecimiento que presenta la especie en Chile.
- Construcción de un simulador de trozado que considere una jerarquización de las características comerciales y cualitativas de los productos en el esquema de trozado.

### 3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Secoya es una especie que se introdujo en Chile entre los años 1955 y 1960 <sup>(1)</sup>, originaria de la costa oeste de EE.UU., en donde los bosques casi puros (más del 81% de secoya) son comunes. La superficie que cubre esta especie son aproximadamente 800.000 hectáreas (Harlow *et al.*, 1969).

La distribución natural de la especie en la costa occidental de Estados Unidos, corresponde a una franja angosta y discontinua de 720 km de largo y con un ancho máximo de 60 km. La especie se establece bien hasta una altitud de 600 m.s.n.m. (Ramírez, 2002).

El mismo autor señala que para esta especie, en su país de origen, bajo buenas condiciones de sitio y un manejo adecuado, se obtienen árboles de 45 metros de altura y 90 centímetros de diámetro, con un incremento anual en volumen de 21 m<sup>3</sup>/há, con rotaciones de 40 a 60 años.

Los bosques de secoya existentes en EE.UU. de segundo y tercer crecimiento, presentan una productividad media de 6 a 14 m<sup>3</sup>/ha/año, en cambio las plantaciones en Chile obtendrían una tasa esperada mínima de 18 m<sup>3</sup>/ha/año (Toral y Ábalos, 2004).

De acuerdo a los antecedentes aportados por Toral (2002), en la localidad de Traiguén (Chile), esta especie alcanza a los 30 años un diámetro a la altura del pecho igual o superior a los 35 centímetros, demostrando su buen crecimiento.

Secoya que crece en Chile se caracteriza por tener un rápido crecimiento en comparación con las especies del bosque nativo (Quappe, 1986). Los anillos de crecimiento son anchos en árboles jóvenes y comienzan a angostarse a medida que avanza en edad (Matthei, 1994).

---

<sup>(1)</sup> Comunicación personal con Ing. Agr. Jorge López Hermosilla: Centro de Semillas de Chillán. CONAF, VIII Región.

El duramen es de color rojo-cereza ligero a marrón rojizo, no ceroso en apariencia y sensación al tacto, no tiene olor ni gusto. La albura es de color blanco a café claro. Además, la madera es poco resinosa (Record, 1947).

La madera de secoya crecida en Chile es menos resistente que la madera proveniente de su país de origen. La pérdida de masa siempre es menor en duramen que en albura frente a la acción de hongos xilófagos (Villanueva, 1995). Por otra parte Quappe (1986) señala que la densidad de la madera en algunos casos es de 0,28 g/cm<sup>3</sup>.

Las variadas formas de utilización de su madera, las características y velocidad de crecimiento hacen prever que secoya tiene un gran potencial económico para Chile (Matthei, 1994).

### **3.2 USOS DE LA MADERA DE SECOYA**

Las características fibrosas de la corteza, han permitido su uso en la industria papelera, específicamente en la fabricación de papeles absorbentes (Harrar, 1962).

El uso de chapas de Secoya puede constituir una alternativa para diversificar la materia prima en la fabricación de tableros contra chapados (Quappe, 1986).

En ensayos de maquinado con madera aserrada de secoya, se obtuvieron diferentes calidades en cepillado, lijado y torneado presentando siempre un cierto margen de defectos. Por último, al analizar la dureza normal de 183,34 kg se clasifica como una madera blanda (Undurraga, 1995).

Secoya es una de las maderas blandas más cotizada en su país de origen, por sus características físicas y mecánicas. Es utilizada gracias a sus propiedades en la mayoría de los procesos productivos, como aserrado, muebles, etc. (Titmuss, 1948).

La madera de Secoya es fácil de trabajar, tanto manual como con maquinaria. Esta madera no es demasiado durable, salvo bajo protección a las condiciones climáticas (Titmuss, 1948).

Las características mecánicas y decorativas de su madera es variable, la madera que posee más albura y presenta una mayor proporción de nudos es muy parecida al pino oregón, en cambio la madera con duramen y menor proporción de nudos se puede acercar a la madera de raulí, o coihue "hualle". Incluso la madera proveniente de árboles

añosos altamente duraminizada se puede igualar a raulí “pellín” o alerce (Toral y Ábalos, 2004).

### **3.3 FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO**

Las funciones de ahusamiento son herramientas en mensura y manejo forestal, que permiten calcular diámetros a una altura dada o la altura del fuste a un diámetro dado. La integración de esta función permite calcular el volumen total o comercial. Esta información es muy útil en inventarios con esquemas de trozado predeterminados (Sáez, 1997).

Representar la forma de un árbol es muy complejo, ya que no tiene una forma constante, sino que va cambiando a lo largo del fuste, en la base se aprecia un neiloide, en el centro un paraboloides y en la parte superior un cono, cada uno empieza cuando el anterior termina (Avery y Burkhart, 1994).

Al utilizar una función de este tipo, en primer lugar se debe analizar su comportamiento respecto de su capacidad predictiva en la estimación de diámetros y volúmenes, es por lo que la construcción de la función de este tipo requiere varias mediciones de diámetros y alturas a lo largo del fuste, junto con conocer los parámetros de rodal (Cancino, 2000).

En la actualidad el método más utilizado en la construcción de funciones de ahusamiento es el análisis de regresión (Prodan *et al.*, 1997), que ha sido empleado para ajustar funciones de ahusamiento en distintas clases de edad (Carvajal, 1998), concluyendo que el ahusamiento va disminuyendo a través del tiempo, es decir, el ahusamiento de clases tempranas de crecimiento es distinto al que presentan los individuos de avanzada edad.

Existen varias formas de construir una función de ahusamiento. Se puede construir mediante modelos segmentados, modelos generales de árbol completo, modelos de árbol individual, modelos compatibles generales y segmentados y por último los modelos de forma o exponente variable (Prodan *et al.*, 1997).

Los mismos autores definieron cada uno de los modelos, señalando que un modelo segmentado consiste en un conjunto de funciones, en el cual cada parte fustal está representada por una función distinta. Este modelo tiene como condiciones que las funciones correspondientes a cada forma fustal se unan correctamente en los puntos de contacto entre una sección y otra, el modelo más utilizado es el de Frazer.

Por su parte, el modelo general de árbol completo es aquel que utiliza una función única para modelar la forma fustal, pueden ser funciones simples o complejas, éstas últimas utilizan altas potencias que facilitan el ajuste de la parte basal del fuste, que generalmente es la más complicada.

El modelo general de árbol individual o en dos etapas, la función se ajusta a los perfiles de cada árbol, para luego construir modelos predictores de los coeficientes de la función. Por su parte, los modelos compatibles generales o segmentados, son aquellos que utilizan en su expresión un valor volumétrico que se obtiene de una función de volumen previamente ajustada.

Por último, definieron el modelo de forma o exponente variable, como aquel en que el exponente de la variable que iguala la altura en el fuste con su respectivo diámetro, es una función que varía con la altura en donde se encuentre ese diámetro.

En Chile, Pera (1982) ajustó el modelo segmentado de Frazer para modelar la forma fustal de árboles de Pino insigne en la VII Región, obteniendo muy buenos resultados para las predicciones de diámetros y volúmenes.

Coffré (1983) comparó funciones de ahusamiento para pino insigne, para esto utilizó tres modelos a saber; el modelo segmentado, el modelo general de árbol completo y el modelo general de árbol individual, concluyendo que el modelo general de árbol individual se ajusta mejor al crecimiento de pino insigne obtenido en la provincia de Arauco.

La ventaja de estos modelos es que se disminuye el sesgo en la estimación de diámetro en la parte basal y en la superior. Uno de los modelos segmentados más utilizados es el de Frazer (1979) obteniendo muy buenos resultados en la predicción de diámetros y volúmenes (Pera, 1982).

Díaz (2000) analizó cinco funciones de ahusamiento, a los cuales evaluó su capacidad predictiva con los estadígrafos Sesgo Medio o Diferencia Agregada (DA), Error Medio Absoluto (EMA) y Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM). Estos estadígrafos fueron usados para la validación de los modelos en la estimación de diámetros, alturas y volúmenes.

Pera (1982) señala que se necesita una muestra independiente a la utilizada en el ajuste para validar una función de ahusamiento. De lo contrario se estaría analizando la capacidad de los modelos de replicar la base muestral y no de validar los modelos.

Bandak (1995), validó las funciones de ahusamiento de Coffré, Kozak, Polinomial y Bruce, para Forestal Valdivia S.A. utilizando una muestra independiente a la utilizada en el ajuste. Concluyendo que existían diferencias favorables a la función de Coffré, al ser comparadas sus bondades de predicción en la estimación de diámetros como de volúmenes.

Las funciones de ahusamiento tienen aplicación en simuladores de crecimiento y rendimiento como en la simulación de trozado, cuando un usuario tiene interés en conocer la cantidad de productos posibles de obtener en el proceso de simulación (Prodan et al., 1997).

El modelo de ahusamiento puede ser usado en un modelo optimizador, para determinar la mejor forma de realizar el trozado de árboles, con lo que se lograría maximizar los retornos económicos y la producción (Pera, 1982).

La utilización de funciones de ahusamiento en estimaciones de volumen, desagregados por producto, es una herramienta que flexibiliza la simulación de diferentes tipos de productos, considerando diferentes características dimensionales y de calidad (Tapia, 1999).

### **3.4 SIMULACIÓN DE TROZADO**

Salas (2000) plantea que los procesos de simulación son empleados cuando es necesario obtener proyecciones o respuestas de sistemas complejos en cuanto a su funcionalidad, por lo que es necesario una simplificación del sistema sin modificar el esquema básico de éste, para que las respuestas o predicciones que entregue sean lo más eficiente posible.

Existen simuladores para decisiones estratégicas, logísticas y operativas. En Chile se han utilizado simuladores para la logística forestal, como es el caso de Asicam y Planex, el primero trabaja con la problemática del transporte forestal, en cambio el segundo trata de mejorar la red caminera y la localización de las maquinarias (Valdés, 2004).

El mismo autor señala que en 1989 Fundación Chile en conjunto con empresas forestales, dentro del marco del Proyecto Modelo Nacional de Simulación de Pino radiata, desarrollaron el simulador Radiata Plus. Posteriormente se desarrollo un simulador para Eucaliptos globulus y nitens, llamado Eucsim cuya función principal es predecir el crecimiento de una plantación sometida a diferentes regímenes de manejo, maximizando los beneficios económicos.

No solo basta con estimar el crecimiento en pie de las plantaciones forestales, sino que se deben obtener estimaciones por tipo de producto.

“El bosque o mejor dicho los árboles como fuente de materia prima, presentan distintas posibilidades para generar productos alternativos, atendiendo a sus dimensiones y calidades. Los productos a su vez, por estar restringidos físicamente en sus dimensiones límites y calidades presentan rendimientos variados para un mismo árbol, en atención a la forma de trozado o combinación de productos que de él se haga y de las características del árbol” (Corvalán, 1992).

Un simulador de trozado es altamente dependiente del modelo de ahusamiento o modelo fustal sobre la base del cual se estiman los diámetros y alturas de las secciones (Prodan et al., 1997).

Para realizar una correcta gestión forestal se debe obtener información cualitativa y cuantitativa muy precisa de la productividad de los bosques y de los productos a obtener, para así maximizar el beneficio de la empresa. Para esto, se hace imprescindible realizar este análisis utilizando funciones de ahusamiento que representen mejor la forma fustal (Alarcón et al., 1992).

En este contexto, Obreque (1993), opina que utilizar un algoritmo computacional para la toma de decisiones, utilizando un esquema de corta predeterminado al momento de la cosecha, son de mucha utilidad para conocer cual es el mayor beneficio económico que se puede obtener de un rodal.

También resulta importante utilizar algoritmos y lógica funcional para predecir anticipadamente la cantidad, volumen, distribución y tamaño de las trozas posibles de obtener, junto con la valorización del ingreso obtenido con esa opción de corta (Alarcón et al., 1992).

Al respecto, Torres (2000) opina que el disponer de herramientas computacionales que faciliten y agilicen ciertas tareas, es la tendencia actual del sector forestal, pero, estas herramientas para que no sólo sean efectivas sino también eficientes, deben utilizar información lo más veraz posible.

Valdés (2004), señala que antiguamente se perdía demasiado tiempo en encontrar soluciones aproximadas, pero que no evitaban la pérdida de dinero y el mal uso de los recursos. En Chile, el desarrollo de modelos matemáticos produjo una revolución de la



industria forestal chilena, gracias al apoyo de fondos concursables e instituciones no gubernamentales, logrando así, modelar, planificar y optimizar la producción forestal.

## 4 MATERIAL Y MÉTODO

### 4.1 MATERIAL

Para la realización de las actividades se emplearon 36 árboles de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl., de los cuales 10 se originaron del predio Antiquina (Arauco, VIII Región), 8 se obtuvieron del Centro Forestal Edmundo Winkler ubicado en Frutillar (X Región), 10 provenientes del predio de Forestal Voipir (Villarrica, IX Región), 7 desde el predio Sotillo perteneciente a Forestal Natalhue ubicada en Lanco (X Región) y el último árbol del Centro de Semillas de Chillán (VIII Región).

- Para llevar a cabo el análisis de tallo se utilizaron los siguientes instrumentos y materiales:
- Regla metálica con graduación milimétrica para la medición de los anchos de anillo en cada una de las rodela.
- Huincha de distancia de 50 metros para la medición de la altura total y del largo de las trozas.
- Pintura para realizar la marcación e identificación de las trozas o rodela.
- Formulario de terreno en el que se especificó la localidad, el número de árbol, número de rodela o troza, anchos de anillo por rodela, la edad y la altura total del árbol.

### 4.2 MÉTODO

#### 4.2.1 ANÁLISIS DE TALLO

Se analizaron 266 rodela obtenidas de los 36 árboles de la muestra inicial. En este análisis, se buscó el radio promedio entre el radio menor y el radio mayor de la rodela, ambas mediciones fueron realizadas sin corteza, medidos sobre una de las caras de la rodela. Todos los datos fueron medidos sobre el mismo lado del fuste para no obtener inconsistencias en la información.

Las rodela fueron obtenidas a distintas alturas de corte, en todas las localidades se obtuvieron rodela cada 2,5 metros, excepto en los árboles extraídos del predio de Forestal Voipir, en donde se obtuvieron rodela cada 3,3 metros de altura.

Sobre el radio promedio se trazó una línea sobre la que se midieron los radios acumulados, esta medición fue realizada en el sentido de corteza a la medula, también se realizó la medición del ancho de corteza.

Con esta información se pudo calcular el ancho por anillo, el incremento radial acumulado y el diámetro acumulado; que se obtuvo al duplicar el radio acumulativo.

Mediante la medición se realizó la anotación del límite entre la albura y el duramen de cada rodela, para su posterior utilización en la clasificación de los productos.

A todos los árboles se les realizó la medición de la altura total una vez ya volteados, también se les midió la punta remanente después de obtener la última rodela y la altura de obtención de cada rodela.

Con el análisis de tallo fue posible aumentar la muestra inicial, ya que sólo fue posible la autorización de corta de 36 árboles, con lo que facilitó el ajuste y validación de los modelos. De cada árbol, se conocen sus crecimientos anuales pasados (perfiles), por lo que desagregando esta información se obtuvieron sus árboles históricos. El criterio de selección para la muestra final es que todo perfil con un DAP mayor o igual a 10 centímetros sería considerado en ella. Este criterio fue seleccionado por ser un diámetro factible de utilizar económicamente.

Los crecimientos anuales pasados de cada uno de los árboles de la muestra inicial, presentan auto-correlación entre sí, por lo que es necesario considerar la edad en la construcción de la función de ahusamiento. De lo contrario los resultados finales, tendrían un cierto grado de sesgo.

Para resolver este problema la muestra final se dividió en dos etapas de crecimiento, con esto se elimina en gran parte el factor de sesgo que tendría el modelo final. Estas dos etapas fueron consideradas por separado en el proceso de ajuste y validación de la función de ahusamiento. Las clases de edad a considerar fueron 2:

- de 1 a 20 años.
- mayor a 20 años.

Durante el análisis de tallo, el fuste de cada árbol fue dividido en 10 partes iguales, fue interpolado el diámetro en la mitad de cada una de ellas, utilizando la rodela inferior y la rodela superior más cercana a dicha altura.

Estos diámetros fueron utilizados posteriormente en la validación de los modelos de ahusamiento, tanto en la estimación de diámetros en cualquier parte del fuste como en la estimación de volúmenes por troza.

Cada perfil fue analizado para comprobar la consistencia de su información, se consideraron los siguientes criterios:

- $D_{isc} \geq D_{(i+1)sc}$
- $DAP_{cc} > DAP_{sc}$
- $HT > H_i$

Donde:

$D_{isc}$ : es el diámetro sin corteza medido a una altura  $H_i$  a lo largo del fuste.

$D_{(i+1)sc}$ : es el diámetro sin corteza medido a una altura  $H_{(i+1)}$  a lo largo del fuste.

$DAP_{cc}$ : es el diámetro a la altura del pecho medido con corteza.

$DAP_{sc}$ : es el diámetro a la altura del pecho medido sin corteza.

$HT$ : es la altura total del árbol.

$H_i$ : es la altura medida hasta la sección  $i$ , a lo largo del fuste, esta puede ser menor o igual a  $HT$ .

La información obtenida del análisis fustal fue utilizada para obtener variadas relaciones, dentro de las que tienen mayor relevancia para este estudio, están las siguientes:

- Diámetro versus Altura
- $DAP_{cc}$  versus  $DAP_{sc}$
- Albura versus Duramen

#### 4.2.2 FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO

Realizado el análisis de tallo se determinó una función de ahusamiento ajustada a las características de crecimiento de los árboles seleccionados en la muestra.

Para la selección de la función de ahusamiento se utilizó el modelo segmentado y el modelo general de árbol completo, utilizando una función simple y una compleja.

Se utilizaron los siguientes modelos:

**Modelo segmentado o de Frazer (1979).**

- $Y = \text{EXP}^{(2)}(p+q*X)$  si  $0 \leq X \leq \theta$
- $Y = (r+s*X)^{0.5}$  si  $\theta < X \leq \varepsilon$
- $Y = t+u*X$  si  $\varepsilon < X \leq 1$

Donde:

$$X = (H_i / H_t)$$

$$Y = (D_{isc} / DAP_{sc})$$

$\theta, \varepsilon$  : puntos de cambio de la relación funcional<sup>(3)</sup>.

$p, q, r, s, t, u$ : parámetros del modelo.

**Modelo general de árbol completo (complejo) o de Bruce (1968).**

- $Y = a*X_1 + b*X_2 + c*X_3 + d*X_4 + e*X_5 + f*X_6$

Donde:

$$X = ((H_t - H_i) / (H_t - 1.3))$$

$$X_1 = X^{(3/2)}$$

$$X_2 = (X_1 - X^3) * DAP_{cc}$$

$$X_3 = (X_1 - X^3) * H_t$$

$$X_4 = (X_1 - X^3)^2 * H_t * DAP_{cc}$$

$$X_5 = (X_1 - X^3)^2 * H_t^{(0.5)}$$

$$X_6 = (X_1 - X^3)^2 * H_t^2$$

$$Y = (((D_{isc})^2) / ((DAP_{cc})^2))$$

---

<sup>(2)</sup> EXP (X) = “exponente e” elevado a X

<sup>(3)</sup>  $\theta$  representa el punto donde la forma del fuste cambia de un neiloide a un paraboloides y  $\varepsilon$  el punto de cambio del paraboloides a un conoide.

a, b, c, d, e, f : constantes del modelo.

**Modelo general de árbol completo (simple), utilizado por Coffre (1983).**

- $Y = a \cdot X + b \cdot X^2 + c \cdot X^3$

Donde:

$$X = ((H_t - H_i) / (H_t - 1.3))$$

$$Y = (D_{isc} / DAP_{cc})$$

a, b, c : constantes del modelo.

Para todos los modelos las variables son:

$D_{isc}$ : Diámetro sin corteza medido en la i-ésima sección del fuste.

$DAP_{cc}$ : Diámetro con corteza medido a la altura del pecho.

$DAP_{sc}$ : Diámetro sin corteza medido a la altura del pecho.

$H_i$ : Altura en la que se encuentra la i-ésima sección del fuste.

$H_t$ : Altura total del árbol.

Como los modelos generales son linealizables en los parámetros de los regresores se utilizó la técnica de regresión no lineal, ocupando el método Cuasi-Newton. Este método consiste en iteraciones, con las que se va minimizando la suma de los cuadrados, que corresponde a la sumatoria de los cuadrados de la diferencia entre el valor observado y el estimado.

Para el caso del modelo de Frazer, se utilizó la metodología señalada por Pera (1982), la cual se describe en el Anexo 10.1.

Con la función de ahusamiento ajustada se obtuvieron los diámetros a la altura relativa de corta, la que se desplazó entre la altura del tocón y la altura total del árbol.

Una vez construida la función de ahusamiento e integrando la función fue posible obtener los volúmenes totales por árbol o simplemente calcular el volumen de una troza ubicada entre dos alturas conocidas.

La función de ahusamiento fue construida sin considerar el espesor de corteza en los diámetros medidos a distintas alturas a lo largo del fuste.

Sin embargo, y dado que los modelos consideran la utilización del DAP con corteza y sin corteza, para el caso de los árboles históricos fue necesario determinar una relación entre el diámetro con corteza y el sin corteza, la que fue construida empleando la base de datos original. La relación de corteza fue ajustada empleando el modelo:

$$DAP_{cc} = \beta * DAP_{sc}$$

Donde:  $\beta$  es el parámetro de la relación entre DAP con corteza y el DAP sin corteza.

La base final obtenida con la muestra original y los árboles históricos se estratificó en dos partes, la primera se utilizó para el ajuste de los modelos, con el 70% de los árboles y la segunda en la validación de éstos con el 30% restante. Esto se realizó para las dos clases de crecimiento independientemente.

A las muestras utilizadas en el ajuste como en la validación, de ambas clases de edad, se les aplicó un test de “Diferencias de medias”, en el que la hipótesis nula a probar, es la igualdad de las medias. Con esto, se demuestra que no existen diferencias significativas entre las muestras, asegurando así un buen proceso de validación. Es decir, cualquier diferencia significativa que se obtenga en el proceso de validación, se garantiza que sólo es atribuible a las características del modelo utilizado.

La bondad de ajuste de los modelos se describe a través del Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el Error de estimación (EEE), pero debido a que los modelos probados en esta memoria ajustan diferentes variables dependientes no es posible hacer comparaciones directas de la bondad de ajuste. Es por esto, que se utilizó la bondad de predicción para seleccionar el modelo que se utilizó en el simulador de trozado.

Prodan *et al.* (1997) recopilaron de la literatura diferentes medidas de exactitud y sesgo las que se utilizaron para evaluar la bondad de predicción de los modelos fustales tales como:

**Raíz Cuadrada del Error Medio Cuadrático (REMC).**

$$REMC = \sqrt{[\sum(O_i - E_i)^2 / n]}$$

**El Error Medio Absoluto (EMA).**

$$EMA = \sum | O_i - E_i | / n$$

La medida de sesgo que se obtuvo fue la siguiente:

**Diferencia Agregada (DA).**

$$DA = \sum(O_i - E_i) / n$$

Donde:

$O_i$ : es la observación  $i$  de la variable, pudiendo ser ésta un diámetro a una altura cualquiera del fuste o una altura a un diámetro determinado.

$E_i$ : es la estimación  $i$  de la variable, es igual que en el caso anterior.

$n$ : es el total de observaciones.

Para la validación de los modelos se considero la capacidad predictiva de éstos en:

Diámetros en cualquier punto del fuste.

Volumen entre dos puntos cualesquiera del fuste.

Estos se compararán con los obtenidos utilizando el método de Smalian, promediando las áreas extremas de la troza y ponderando por el largo de la troza. Para el caso de las estimaciones de diámetro se dividió el fuste en partes iguales para realizar una comprobación del comportamiento del modelo en distintas porciones del fuste, ya que se utilizaron árboles de distintas edades se usaron medidas relativas o porcentuales. Se utilizaron entre 8 y 10 secciones, para evaluar el comportamiento del modelo en la totalidad del fuste.

Con lo anterior se obtuvo un modelo fustal que se ajusta más fielmente con la realidad de la especie entre las regiones seleccionadas y para las dos clases de edad propuestas, por último, éste se utilizo en el simulador de trozado.



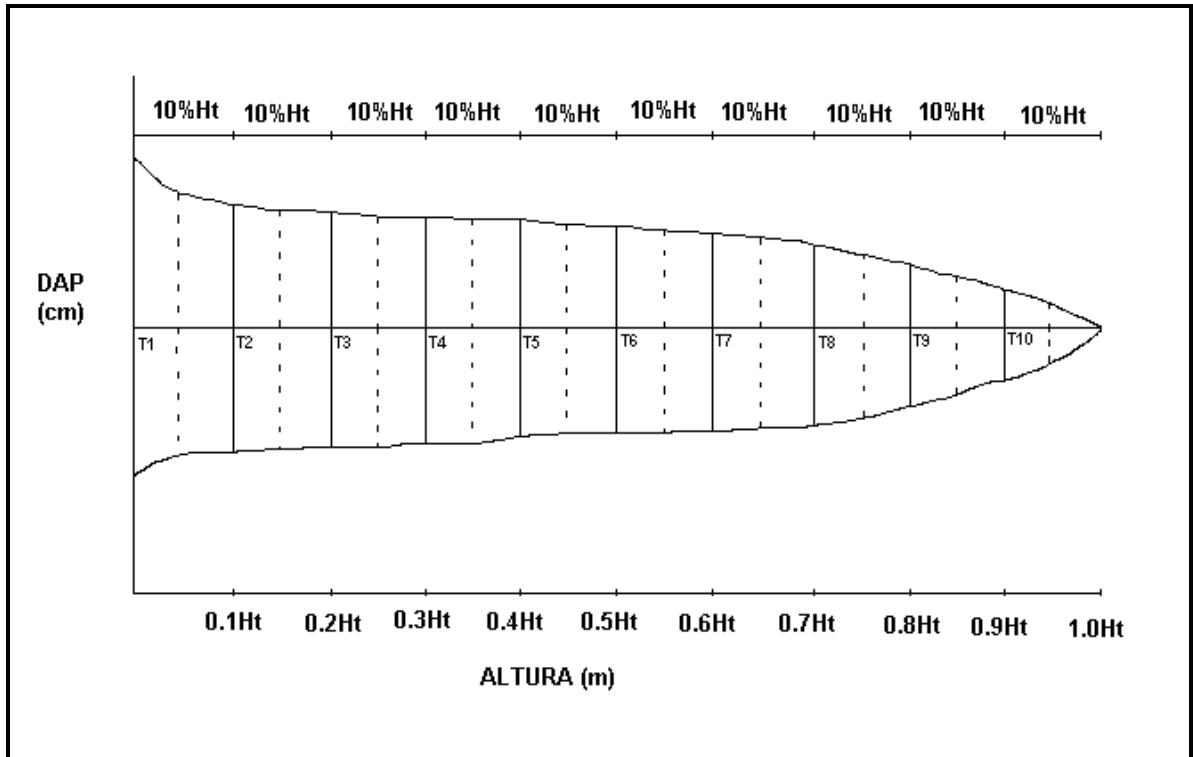


Figura 1. Esquema de trozas de un árbol.

#### 4.2.3 SIMULADOR DE TROZADO

Para realizar la simulación del trozado, se construyó un simulador, que entrega el número de trozas destinadas a cada tipo de producto, utilizando como principal herramienta la función de ahusamiento determinada previamente en esta memoria.

Para cumplir este objetivo se dispuso con:

La función de ahusamiento ajustada a los datos disponibles, lo que permitió conocer la forma de los árboles de la muestra que se encuentren en alguna de las etapas de crecimiento seleccionadas.

Los tipos de productos posibles de obtener.

Para esto, es necesario definir las características de los productos, lo que permitió la jerarquización de ellos al momento de realizar el trozado. Las variables más importantes del esquema de trozado que permiten definir a los productos son:

**Nombre:** es la denominación de trozado de los productos, esta variable, no es ingresada ni utilizada durante el proceso de trozado, pero sí es utilizada para la identificación de los resultados del proceso de trozado.

**Precio (\$/m<sup>3</sup>):** es la información más importante al momento de jerarquizar los diferentes productos, en este punto se utilizó las especificaciones del producto para definir el precio.

**Calidad:** esta variable se consideró en la descripción y jerarquización de los productos que se utilizaron en el esquema de trozado, se consideró dos opciones de producto con poda o sin poda.

**D. Mínimo (cm):** es el diámetro mínimo limitante del producto, que produce su aceptación en el esquema, esta variable es medida en el diámetro menor de la troza.

**Largo (m):** es una variable que se utiliza para condicionar las características de la troza o producto.

Como resultado de lo anterior, se obtiene el esquema de productos caracterizados y jerarquizados, los cuales al ingresarlos en el simulador de trozado se obtiene una mejora del proceso, al considerar la forma del perfil del árbol que es trozado.

Los principales productos a obtener son trozas remanufactura, aserrables y polines (cerco o trozas pulpables).

En el análisis del trozado, no se buscó una maximización económica del proceso, sino que considerando las características técnicas de los productos seleccionados, se realizó una valoración en pesos del proceso. El trozado se realizó utilizando árboles provenientes de la muestra inicial.

Después de contar con la función de ahusamiento y con la lista de productos se inició la construcción del simulador de trozado en el lenguaje Visual Basic® 6.0.

Las variables que se utilizaron en la construcción se clasificaron en tres tipos, las variables de entrada, las de proceso y por último, las variables de salida.

Las variables de entrada:

**DAP (con corteza o sin corteza) (cm):** esta variable caracteriza al árbol según diámetro, es una variable conocida, que se obtiene durante el inventario del rodal.

**Altura total del árbol (HT) (m):** esta variable caracteriza al árbol según altura, es una variable conocida, que se obtiene durante el inventario del rodal.

**Etapas de crecimiento (años):** esta variable permite utilizar una función de ahusamiento más adecuada para cada árbol trozado.

Para comenzar el proceso de simulación será requerido que se conozca la edad del árbol o del rodal a trozar, para así seleccionar el sub sistema que represente a esa etapa de crecimiento en particular.

Las variables de entrada son utilizadas para la obtención de las variables de proceso. Estas variables se definen como aquellas que se obtienen al utilizar las variables de entrada u otras variables de proceso, y definen a las variables de salida.

Las variables de proceso:

**Altura i ( $h_i$ ) (m):** es la altura del límite superior del producto i. antes de obtener cualquier producto, esta variable puede tomar dos valores 0,2 para la primera etapa de crecimiento y 0,3 para la segunda.

**Diámetro i ( $d_{isc}$ ) (cm):** es el diámetro mínimo que define al producto i, éste se obtiene en  $h_i$ .

**Cantidad de producto i ( $trozasp_i$ ):** es un contador que varía durante el proceso de trozado. Corresponde a la cantidad de producto tipo i.

**Volumen del producto i ( $vol_i$ ) ( $m^3$ ):** esta variable es caracterizada por el volumen del producto i.

**Función de ahusamiento:** esta es la función determinada en esta memoria.

**Altura máxima (m):** es una variable que no condiciona al tipo de producto, pero que muchas veces coincide con el diámetro menor de la última troza o producto obtenido.

Las variables de salida:

**Total de producto tipo i ( $ttrozasp_i$ ):** esta variable indica la cantidad de productos tipo i, que se obtienen del proceso de trozado, utiliza para su obtención la variable de proceso  $trozasp_i$ .

**Volumen total del producto tipo i ( $volp_i$ ) ( $m^3$ ):** esta variable entrega el volumen total por tipo de producto, utiliza para su obtención la variable de proceso  $vol_i$ .

**Rendimiento (%):** esta variable corresponde al porcentaje del árbol total que es utilizable en la obtención de los productos definidos en el esquema de trozado.

**Ingreso total del producto tipo i ( $ingp_i$ ) ( $\$/m^3$ ):** esta variable indica el nivel de ingreso que aporta cada uno de los productos, es la principal variable que permite valorar económicamente el proceso de trozado.

#### 4.2.4 VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO DE TROZADO

Se seleccionaron 14 árboles pertenecientes a diferentes clases de edad, para esto, se consideraron clases con intervalos de 5 años, dentro de cada una de ellas se eligieron dos árboles para trozar.

Los árboles seleccionados pertenecen a la muestra inicial de 36 árboles. No se realizó el trozado de la totalidad de éstos, porque existía diferencia en el número de ejemplares por clases de edad, por lo que sólo se trozaron dos árboles por cada una de ellas, para evitar sesgos al interpretar los resultados.

Se realizó el proceso de trozado para la totalidad de los árboles en una planilla de cálculo, en donde mediante una iteración, se obtuvieron los diferentes productos y sus volúmenes. Estos resultados se compararon con los obtenidos con el simulador de trozado SEQUTROZ 1.0.

De esta forma, es posible analizar el comportamiento del simulador teniendo como parámetro esta información, que supuestamente no debería variar en la cantidad de trozas obtenidas por tipo de producto, pero sí en los volúmenes por cada uno de ellos.

Le número de trozas por tipo de producto no debe variar debido a que se utilizó la función de ahusamiento para el cálculo del diámetro a la altura de corte de cada uno de los productos.

Después de obtener los volúmenes por cada tipo de producto, se ponderó cada uno por el precio por  $m^3$  puesto a orilla de camino, que se especifica en el esquema de trozado. Con esto, es posible cuantificar el ingreso por tipo de producto y realizar un análisis con el número de trozas obtenidas y el ingreso que aporta cada uno de ellos.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Los datos utilizados en el ajuste y validación de los modelos de ahusamiento seleccionados, carecen de datos en las clases de diámetros inferiores a 10 centímetros, ya que estos fueron descartados por considerar que no es un diámetro factible de aprovechar económicamente.

En la Tabla 1 se caracterizan a las muestras que se utilizaron para el ajuste de los modelos de ahusamiento.

Tabla 1. Resumen de las muestras utilizadas para el ajuste de los modelos de ahusamiento.

Parámetros estadísticos: Ajuste de los modelos. Variable DAP y ALTURA (HT)				
	Clase de edad 1		Clase de edad 2	
	DAP (cm)	HT (m)	DAP (cm)	HT (m)
Número de observaciones	239	239	266	266
Promedio	22,3	11,52	44,6	25,3
Desviación estándar	7,6	3,94	14,0	5,9
Mínimo	11,3	3,66	24,1	13,7
Máximo	52,8	23,61	93,7	39,5

Las muestras utilizadas en la validación de los modelos se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las muestras utilizadas para la validación de los modelos de ahusamiento.

Parámetros estadísticos: Validación de los modelos. Variable DAP y ALTURA (HT)				
	Clase de edad 1		Clase de edad 2	
	DAP (cm)	HT (m)	DAP (cm)	HT (m)
Número de observaciones	115	115	128	128
Promedio	22,4	11,7	43,7	24,82
Desviación estándar	8,0	4,3	14,4	5,80
Mínimo	11,3	3,9	27,2	14,28
Máximo	55,5	24,6	92,5	38,45

Las dos clases de edad tienden a adoptar la distribución normal. Los histogramas por clases diamétricas que demuestran la adopción de la distribución normal se encuentran en el Apéndice 9.1.

El test de “Diferencias de Medias” arrojó que no existen diferencias significativas relativas a las muestras, estos resultados se presentan en el Apéndice 9.3.

## 5.2 RELACIÓN DE CORTEZA

Dos funciones de ahusamiento seleccionadas consideran como variable dependiente al  $DAP_{cc}$ , por lo que fue necesario obtener una relación de corteza para esta variable.

Se utilizó una relación entre el DAP con corteza y el DAP sin corteza de la forma:

$$DAP_{cc} = \beta * DAP_{sc}$$

Los resultados del ajuste para esta función se presentan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados del análisis de regresión para la relación de corteza.

Coeficiente $\beta$	1,11271
$R^2$	99,06
n	36
Diferencia Agregada (D.A)	0,311
Error Medio Absoluto (E.M.A.)	1,356
Raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio (R.E.C.M.)	1,86

La relación final se muestra a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación de corteza.

$DAP_{cc} = 1,11271 * DAP_{sc}$
---------------------------------

La estimación del DAP con corteza presenta un sesgo de 0,3 cm y un valor del error medio absoluto de 1,35 cm. Los valores del DAP con corteza son subestimados, como se puede observar en la Figura 2.

Se graficó la muestra inicial de 36 árboles, considerando las observaciones del DAP con corteza junto con su estimación, la que fue obtenida mediante la utilización de la relación ajustada en forma previa.

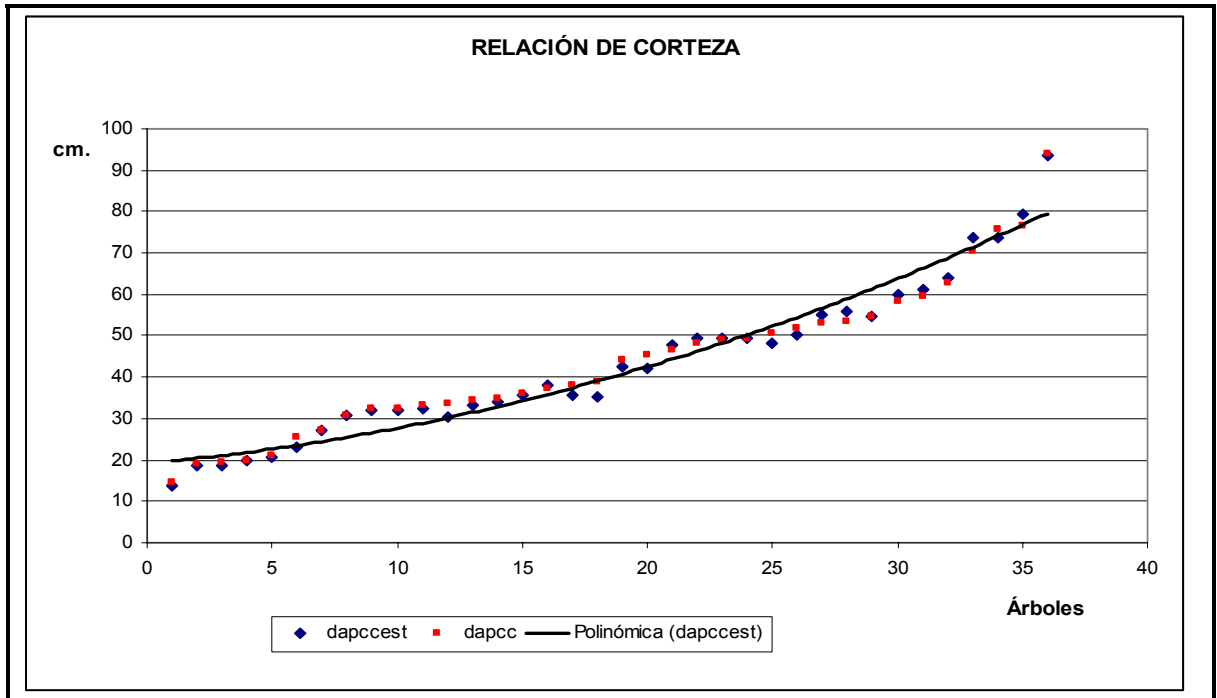


Figura 2. Relación de corteza. Valores observados versus estimados.

### 5.3 RELACIÓN DE DURAMEN

Para la posterior clasificación de los productos fue necesario obtener una relación entre el volumen total y el volumen de duramen, para esto, se utilizó la muestra original de 36 árboles.

La relación utilizada entre el volumen total y el volumen de duramen es de la forma:

$$\text{Volumen Duramen} = \beta * \text{Volumen Total}$$

Esta relación sólo puede ser utilizada para analizar el volumen total, no es útil para analizar diferentes trozas a lo largo del fuste.

Los resultados obtenidos para la relación del duramen se presentan a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados del análisis de regresión para la relación de duramen.

Coefficiente $\beta$	0,49999
$R^2$	97,41
n	36
Diferencia Agregada (D.A)	-0,042
Error Medio Absoluto (E.M.A.)	0,079
Raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio (R.E.C.M.)	0,25

Los resultados indican que el volumen de duramen representa casi el 50% del volumen total del árbol, esta relación se obtuvo sin diferenciar la edad, por lo que se puede utilizar para ambas etapas de crecimiento.

La estimación del volumen que corresponde a duramen presenta un valor de sesgo y error medio absoluto de 0,042 y 0,079 respectivamente. Estos valores del volumen de duramen son sobreestimados, esto se puede observar en la Figura 3.

La relación obtenida se presenta a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Relación de Duramen.

$$\text{Volumen Duramen} = 0.49999 * \text{Volumen Total}$$

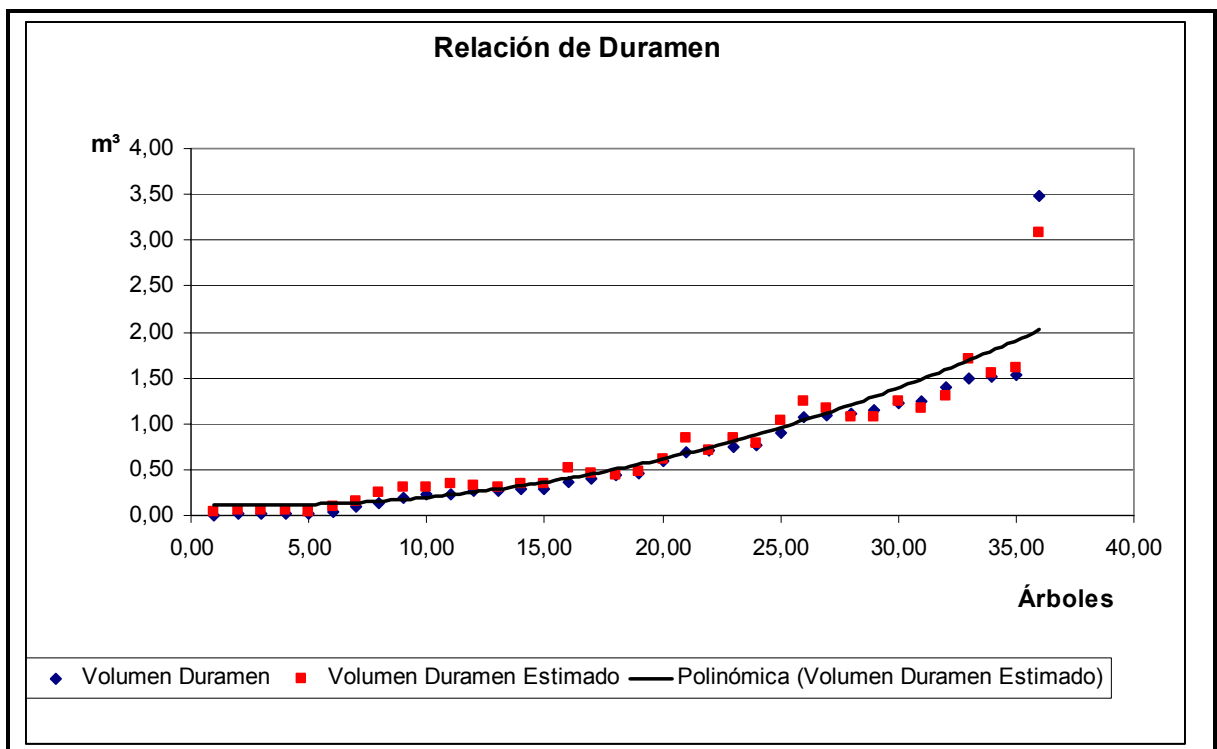


Figura 3. Comparación entre volumen de duramen observado versus el estimado con la relación de duramen.



## 5.4 AJUSTE DE LOS MODELOS DE AHUSAMIENTO

Los modelos seleccionados presentan los siguientes valores para sus parámetros obtenidos en el proceso de ajuste.

### 5.4.1 MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 1

Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros estimados para los modelos generales.

MODELOS GENERALES		
Modelo	BRUCE	COFRÉ
Coefficientes		
a1	0,827935746	1,23161978
a2	-0,032222119	-0,59822405
a3	0,046792935	0,271949283
a4	3,64909E-07	
a5	-1,53873E-05	
a6	4,69583E-08	

El modelo de Bruce que incluye los parámetros obtenidos del ajuste se presenta a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Modelo de Bruce.

$$\left(\frac{D_{isc}}{DAP_{cc}}\right)^2 = 0,82793 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - 0,03222 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^3 * DAP_{cc} + 0,04679 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^3 * H_t + 0,00000036 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{32} * H_t * DAP_{cc} - 0,000015 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{32} * H_t^{1/2} + 0,000000047 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{40} * H_t^2$$

El modelo de Coffré que incluye los parámetros obtenidos del ajuste se presenta a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. Modelo de Coffré.

$$\left(\frac{D_{isc}}{DAP_{cc}}\right) = 1,23162 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right) - 0,59822 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^2 + 0,27195 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^3$$

Para el modelo de Frazer, se buscó el par de valores que minimiza el sesgo y el error. Para esto, se utilizó el método iterativo señalado por Pera (1982), con tres iteraciones.

En este caso se buscó la pareja de valores, con tres dígitos decimales, que arrojó como resultado el mínimo valor de la suma de los cuadrados de los errores.

En la primera iteración, utilizando el rango 0,1 y 0,4 para  $\theta$ , y de 0,5 a 0,9 para  $\varepsilon$ , con un incremento de 0,1, en ambos parámetros. Realizado esto, se pudo determinar que la mejor pareja se encuentra entre los siguientes rangos (0,2 a 0,4) para  $\theta$  y (0,5 a 0,7) para  $\varepsilon$ .

Al realizar la segunda iteración se determinó que la mejor pareja se encuentra entre los siguientes rangos (0,38 a 0,42) para  $\theta$  y (0,59 a 0,63) para  $\varepsilon$ .

En la iteración final se determinó la pareja que entrega la mínima suma del cuadrado de los errores. Durante todo el proceso se observó que todas las parejas arrojaban valores similares de esta suma, pero la pareja que presentó el menor valor fue (0,392 y 0,608).

Los resultados obtenidos indican que para la clase de edad 1, es decir entre 1 y 20 años, los puntos de inflexión entre las formas fustales de un neiloide a un paraboloides se encuentra al 39,2% de la altura total del fuste, en cambio el punto de inflexión entre las formas fustales de un paraboloides a un conoide se encuentra al 60,8% de la altura total del fuste.

#### 5.4.2 MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 2

Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros estimados para los modelos generales.

MODELOS GENERALES		
Modelo	BRUCE	COFFRÉ
Coefficientes		
a1	0,799519003	1,41794222
a2	-0,001503871	-1,313520177
a3	0,004935472	0,771343992
a4	-0,000207418	
a5	0,015133955	
a6	0,0000249183	

El modelo de Bruce que incluye los parámetros obtenidos del ajuste se presenta a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Modelo de Bruce.

$$\left(\frac{D_{isc}^2}{DAP_{cc}^2}\right) = 0,79951 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - 0,00150 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^3 * DAP_{cc} + 0,00493 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^3 * H_t - 0,000207 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{32} * H_t * DAP_{cc} + 0,01513 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{32} * H_t^{1/2} + 0,0000249 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{3/2} - \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^{40} * H_t^2$$

El modelo de Coffré que incluye los parámetros obtenidos del ajuste se presenta a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12. Modelo de Coffré.

$$\left(\frac{D_{isc}}{DAP_{cc}}\right) = 1,41794 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right) - 1,31352 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^2 + 0,77134 * \left(\frac{H_t - H_i}{H_t - 1.3}\right)^3$$

Al igual que para la clase de edad 1, el Modelo de Frazer fue ajustado realizando tres iteraciones.

En la primera iteración, utilizando el rango 0,1 y 0,4 para  $\theta$ , y de 0,5 a 0,9 para  $\varepsilon$ , con un incremento de 0,1, en ambos parámetros. Realizado esto, se pudo determinar que la mejor pareja se encuentra entre los siguientes rangos (0,2 a 0,4) para  $\theta$  y (0,5 a 0,7) para  $\varepsilon$ .

Al realizar la segunda iteración se determinó que la mejor pareja se encuentra entre los siguientes rangos (0,38 a 0,42) para  $\theta$  y (0,50 a 0,54) para  $\varepsilon$ .

En la iteración final se determinó la pareja que entrega la mínima suma del cuadrado de los errores. Durante todo el proceso se observó que todas las parejas arrojaban valores similares de esta suma, pero la pareja que presentó el menor valor fue (0,402 y 0,522).

Los resultados obtenidos indican que para la clase de edad 2, es decir árboles mayores a 20 años, los puntos de inflexión entre las formas fustales de un neiloide a un paraboloides se encuentra al 40,2% de la altura total del fuste, en cambio el punto de inflexión entre las formas fustales de un paraboloides a un conoide se encuentra al 52,2% de la altura total del fuste.

## 5.5 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE AHUSAMIENTO

La validación de los modelos se realizó calculando los estadígrafos de bondad de predicción tanto para la estimación de diámetros en cualquier parte del fuste como en la estimación de volúmenes.

En el caso de la estimación de diámetros se consideró el diámetro a la altura total y el diámetro de 10 trozas, medidas a intervalos equivalentes al 10% de la altura total del árbol.

Para la estimación de volúmenes se consideró el volumen total del árbol y el volumen de las 10 trozas consideradas para la estimación de diámetros.

### 5.5.1 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 1: ESTIMACIÓN DE DIÁMETROS

Los estadígrafos de bondad de predicción de los modelos ajustados para la clase de edad 1, se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de la Validación Global, clase de edad 1.

ESTADÍGRAFOS	BRUCE	COFFRÉ	FRAZER
D.A. (cm)	-0,233367	-0,134536	0,155018
E.M.A. (cm)	1,281723	1,327612	1,335878
R.E.C.M. (cm)	1,767419	1,864254	1,786043

La Tabla 13 muestra los resultados de la validación global para la clase de edad 1, según los valores de sesgo y error medio absoluto, los modelos que presentan una mejor capacidad de predicción son los Modelos de Coffré y de Frazer. Ambos modelos presentan valores muy similares, por lo que no se puede inferir cual de los dos es el de mejor comportamiento.

El Modelo de Bruce, presenta un valor de sesgo superior a los otros dos modelos, pero lo es sólo en 0,1 cm, sin embargo, presenta un valor menor de error medio absoluto.

Al explicar las cifras obtenidas por éstos modelos se puede apreciar que los Modelos de Coffré y de Bruce sobreestiman los diámetros, en cambio el Modelo de Frazer los subestima, como se muestra en la Figura 4.

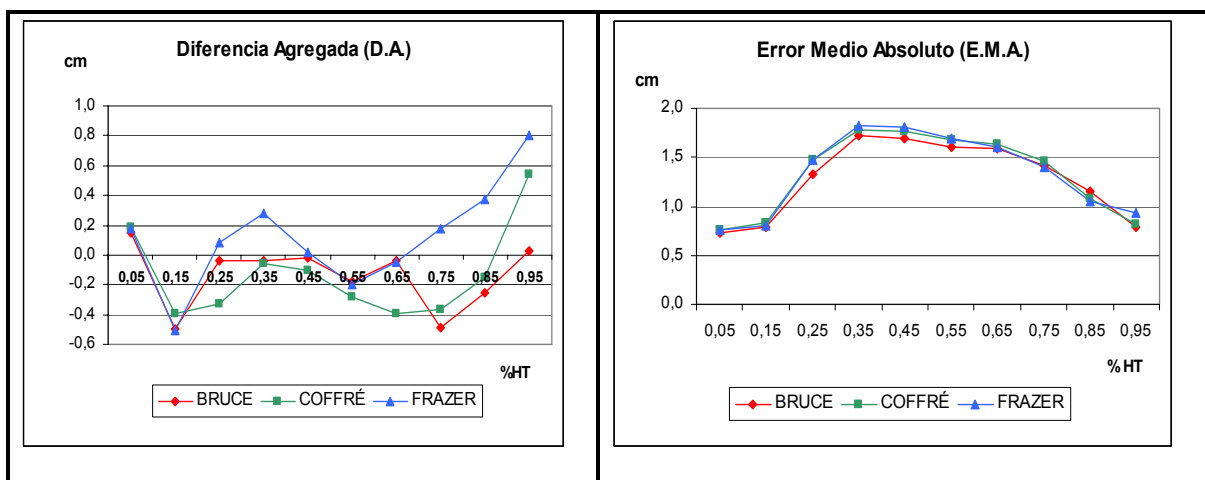


Figura 4. Estadígrafos de sesgo y error para la validación de la estimación de diámetros para árboles entre 1 y 20 años.

En el caso, de la estimación a lo largo del fuste los modelos dieron como resultado los siguientes estadígrafos de bondad de predicción, que se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de la Validación de los modelos, en la estimación de diámetros sin corteza, por altura de troza.

Modelo	BRUCE			COFFRÉ			FRAZER		
	D.A. (cm)	E.M.A. (cm)	R.E.C.M. (cm)	D.A. (cm)	E.M.A. (cm)	R.E.C.M. (cm)	D.A. (cm)	E.M.A. (cm)	R.E.C.M. (cm)
0,05HT	0,1492	0,7277	0,9307	0,1879	0,7532	0,9789	0,1796	0,7634	0,9792
0,15HT	0,5007	0,7820	1,3219	-0,3914	0,8256	1,4812	-0,5041	0,8042	1,3382
0,25HT	0,0395	1,3285	3,8110	-0,3300	1,4719	2,1609	0,0792	1,4717	2,0863
0,35HT	0,0429	1,7299	4,9503	-0,0575	1,7823	2,4175	0,2789	1,8176	2,4312
0,45HT	-0,0160	1,6947	4,7498	-0,1003	1,7668	2,3343	0,0172	1,8125	2,3484
0,55HT	0,1832	1,6022	4,1476	-0,2865	1,6812	2,1068	-0,2021	1,6978	2,1146
0,65HT	0,0356	1,5924	4,3493	-0,3945	1,6356	2,0977	-0,0504	1,6067	2,0638
0,75HT	0,4917	1,4160	3,4025	-0,3646	1,4666	1,9080	0,1773	1,4058	1,8557
0,85HT	-0,2526	1,1545	2,0694	-0,1545	1,0763	1,3715	0,3750	1,0442	1,3833
0,95HT	0,0281	0,7893	1,0696	0,5460	0,8167	1,1308	0,7996	0,9348	1,2598

En la tabla anterior, se presentan los resultados para la estimación de diámetros a lo largo del fuste, éstos indican que en la primera troza (base), el mejor modelo es el de Bruce, con un valor de sesgo de 0,14 cm. La situación cambia cuando se analiza la troza 2, las cifras indican que el modelo que presenta menores valores de sesgo es el Modelo de Coffré, con valores de 0,39 cm.

En las trozas 3, 4, 5, 6 y 7, el Modelo de Bruce presenta valores de sesgo entre 0,01 y 0,18 cm respectivamente, estos valores son muy similares a los obtenidos por el Modelo

de Frazer, salvo en la troza 4 en donde el valor obtenido por Frazer es de 0,27 cm, muy superior al obtenido por Bruce.

En las trozas 8 y 9, los otros modelos superan en la estimación al Modelo de Bruce, con valores de sesgo de 0,17 y 0,15 cm respectivamente. Respecto a la última troza nuevamente el mejor modelo para estimar los diámetros sin corteza es el Modelo de Bruce, con valores de sesgo 0,02 cm, cabe señalar que estas trozas son las de menor interés al momento de obtener productos, porque generalmente estas trozas forman parte del volumen de desecho.

Al analizar las cifras, de cada una de las trozas, se observa que el Modelo de Bruce sobreestima sólo en las trozas 4 y 9, todo el resto de ellas son subestimadas por este modelo. En el caso del Modelo de Frazer, éste presenta un comportamiento predictivo muy similar al Modelo de Bruce, solo sobreestima en tres trozas a lo largo del fuste.

Por esta razón, al analizar esta situación se observa que el mejor modelo para utilizar en la estimación de diámetros en árboles entre 1 y 20 años, es el Modelo de Bruce.

#### 5.5.2 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 2: ESTIMACIÓN DE DIÁMETROS

Los estadígrafos de bondad de predicción de los modelos ajustados para la clase de edad 2, se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados de la Validación Global, clase de edad 2.

Estadígrafos	BRUCE	COFFRÉ	FRAZER
D.A. (cm)	-0,003948	0,010610	0,962480
E.M.A. (cm)	2,452270	2,983651	3,202436
R.E.C.M. (cm)	3,537932	4,084346	4,338447

La Tabla anterior muestra los resultados de la validación global para la clase de edad 2, según los valores de sesgo y error medio absoluto, los modelos que presentan una mejor capacidad de predicción son los Modelos de Bruce y de Coffré, con una ventaja para el primero. Ambos modelos presentan valores de sesgo de 0,003 y 0,01 cm respectivamente. En lo referente al error medio absoluto ambos modelos obtuvieron valores muy similares.

El Modelo de Frazer, presenta valores de sesgo y error medio absoluto superiores a los otros dos modelos, obteniendo valores de 0,96 y 3,2 cm respectivamente.

Al explicar las cifras obtenidas por estos modelos se puede apreciar que el Modelo de Bruce sobreestima los diámetros, en cambio los Modelos de Coffré y de Frazer los subestima, como se muestra en la Figura 5.

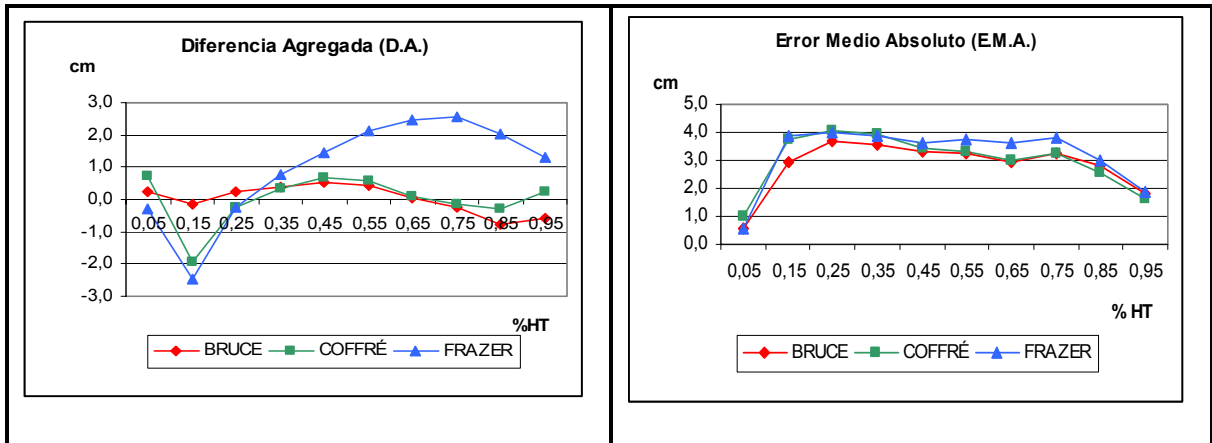


Figura 5. Gráfico de los estadígrafos de sesgo y error para la validación de la estimación de diámetros para árboles mayores a 20 años.

En el caso, de la estimación a lo largo del fuste los modelos dieron como resultado los siguientes estadígrafos de bondad de predicción. Estos se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Resultados de la Validación de los modelos, en la estimación de diámetros sin corteza, por altura de troza.

Modelo	BRUCE			COFFRÉ			FRAZER		
	D.A. (cm)	E.M.A. (cm)	R.E.C.M. (cm)	D.A. (cm)	E.M.A. (cm)	R.E.C.M. (cm)	D.A. (cm)	E.M.A. (cm)	R.E.C.M. (cm)
0,05HT	0,2401	0,5663	1,0815	0,7201	0,9830	1,1504	-0,2829	0,5874	1,0388
0,15HT	-0,1559	2,9352	3,9119	-1,9208	3,7278	5,3608	-2,4769	3,8932	5,6338
0,25HT	0,2430	3,7023	4,5617	-0,2635	4,0741	5,2589	-0,2540	4,0235	5,1876
0,35HT	0,3836	3,5395	4,3524	0,3930	3,9431	4,8976	0,7649	3,8970	4,8035
0,45HT	0,5450	3,3082	4,4440	0,6873	3,4312	4,4202	1,4363	3,6286	4,4785
0,55HT	0,4552	3,2778	4,4823	0,5595	3,2839	4,2741	2,1074	3,7372	4,6317
0,65HT	0,0723	2,9427	3,7936	0,1158	2,9859	3,8053	2,4496	3,6058	4,3798
0,75HT	-0,2499	3,2548	4,2983	-0,1219	3,2200	4,1331	2,5510	3,8025	4,8117
0,85HT	-0,7559	2,7886	3,4776	-0,3029	2,5639	3,3156	2,0237	2,9797	3,8824
0,95HT	-0,5741	1,8128	2,2256	0,2495	1,6237	2,1798	1,3058	1,8694	2,5495

La Tabla anterior presenta los resultados para la estimación de diámetros a lo largo del fuste, éstos indican que en la primera y segunda troza (base), el mejor modelo es el de

Bruce, con un valor de sesgo de 0,24 y 0,15 cm respectivamente. La situación no cambia cuando se analizan las trozas 3 y 4, las cifras indican que el modelo que presenta menores valores de sesgo es el Modelo de Bruce, con valores de 0,24 y 0,38 cm respectivamente. El Modelo de Coffré presenta valores un poco superiores a los del Modelo de Bruce, en estas trozas.

En las trozas 5, 6 y 7, el Modelo de Bruce presenta valores de sesgo de 0,54, 0,45 y 0,07 cm respectivamente, estos valores son muy inferiores a los obtenidos por los otros modelos. Algo similar ocurre con las últimas tres trozas, pero en este caso el mejor modelo es el de Coffré, con valores de sesgo de 0,12, 0,30 y 0,24 cm respectivamente, el Modelo de Bruce obtuvo valores muy cercanos, en comparación con los del Modelo de Frazer, todos con sesgos superiores a 1,0 cm.

Al analizar las cifras, de cada una de las trozas, se observa que el Modelo de Bruce subestima la mayoría de las trozas salvo las trozas 2, 8, 9 y 10, las cuales son sobreestimadas por este modelo. En cambio, el Modelo de Coffré, que presenta un comportamiento predictivo muy similar al Modelo de Bruce, sobreestima en cuatro trozas a lo largo del fuste, en la troza 2, 3, 8 y 9.

Realizar este análisis para el Modelo de Frazer, no tiene mucho sentido, ya que este obtiene valores de sesgo superiores a 1,0 cm en casi la totalidad de las trozas.

Por esta razón, al analizar esta situación se observa que el mejor modelo para utilizar en la estimación de diámetros en árboles mayores a 20 años, es el Modelo de Bruce.

### 5.5.3 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 1: ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES

Los estadígrafos de bondad de predicción para la estimación de volúmenes se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados de la Validación Global, clase de edad 1.

ESTADÍGRAFOS	BRUCE	COFFRÉ	FRAZER
D.A. (m³)	0,017157	0,191626	-0,230415
E.M.A. (m³)	0,053565	0,191626	0,230415
R.E.C.M. (c³)	0,085134	0,287931	0,462949

La validación global, considerando la estimación de volúmenes se presentan en la Tabla 17, los resultados son para árboles entre 1 y 20 años, en ella se puede apreciar que el



Modelo de Bruce presenta valores de sesgo y error medio absoluto menores a los otros dos modelos analizados, con valores de 0,01 y 0,05 m<sup>3</sup> respectivamente.

Del análisis de las cifras se aprecia que los Modelos de Bruce y Coffré subestiman los volúmenes, en cambio el Modelo de Frazer los sobreestima.

Respecto de la estimación de volúmenes por troza, los resultados de la validación se presentan a continuación en la Tabla 18.

En ella se puede observar, que el Modelo de Bruce obtuvo los menores valores de sesgo y de error medio absoluto en la totalidad de las trozas, en todas con valores menores a 0,0027 y 0,01 m<sup>3</sup>, respectivamente.

En la totalidad de las trozas el mejor modelo fue el de Bruce, el Modelo de Frazer tuvo un muy buen comportamiento en la totalidad del fuste, obteniendo el segundo lugar muy por sobre el Modelo de Coffré.

Al realizar el análisis de las cifras, el Modelo de Bruce sobreestima los volúmenes en las cuatro trozas superiores. El Modelo de Coffré subestima la totalidad de las trozas, en cambio el Modelo de Frazer sobreestima en la porción central del fuste, como muestra la Figura 6.

Tabla 18. Resultados de la Validación de los modelos, en la estimación de volúmenes por troza.

Modelo	BRUCE			COFFRÉ			FRAZER		
	D.A. (m <sup>3</sup> )	E.M.A. (m <sup>3</sup> )	R.E.C.M. (m <sup>3</sup> )	D.A. (m <sup>3</sup> )	E.M.A. (m <sup>3</sup> )	R.E.C.M. (m <sup>3</sup> )	D.A. (m <sup>3</sup> )	E.M.A. (m <sup>3</sup> )	R.E.C.M. (m <sup>3</sup> )
0,05HT	0,0006	0,0076	0,0164	0,0244	0,0244	0,0396	0,0008	0,0083	0,0391
0,15HT	0,0001	0,0113	0,0204	0,0459	0,0459	0,0678	0,0001	0,0518	0,0394
0,25HT	0,0027	0,0088	0,0144	0,0349	0,0349	0,0509	-0,0096	0,0093	0,0947
0,35HT	0,0020	0,0098	0,0143	0,0284	0,0284	0,0427	0,0020	0,0861	0,0100
0,45HT	0,0014	0,0086	0,0120	0,0223	0,0223	0,0337	-0,0484	0,0486	0,1086
0,55HT	0,0002	0,0065	0,0090	0,0159	0,0159	0,0248	-0,1958	0,1958	0,3680
0,65HT	-0,0004	0,0051	0,0070	0,0104	0,0104	0,0172	0,0004	0,0037	0,0053
0,75HT	-0,0010	0,0036	0,0048	0,0060	0,0060	0,0100	0,0072	0,0072	0,0113
0,85HT	-0,0010	0,0023	0,0031	0,0026	0,0027	0,0046	0,0036	0,0036	0,0056
0,95HT	-0,0004	0,0009	0,0012	0,0007	0,0008	0,0014	0,0013	0,0013	0,0019

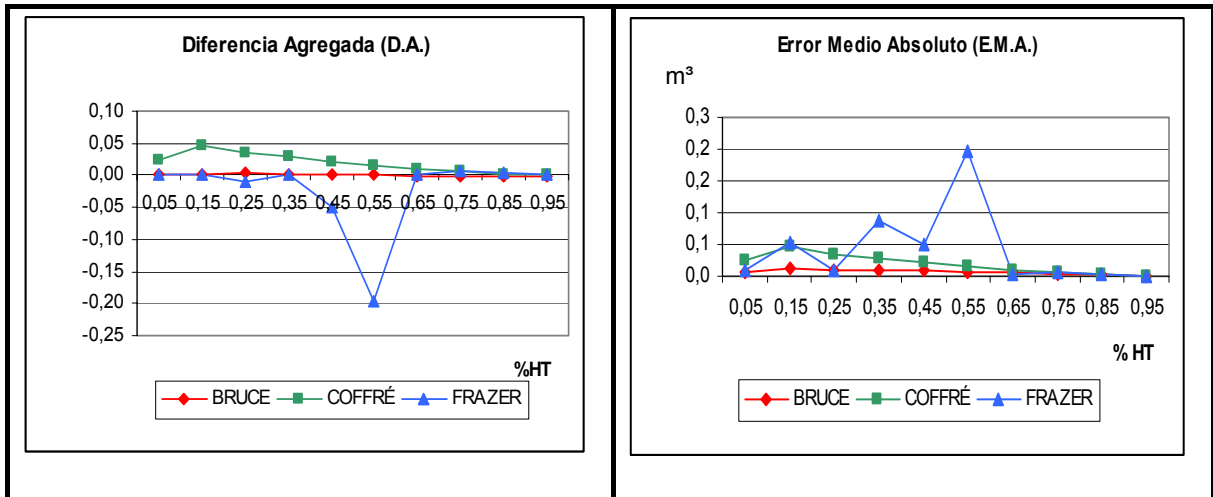


Figura 6. Gráfico de los estadígrafos de sesgo y error para la validación de la estimación de volúmenes para árboles entre 1 y 20 años.

Al observar estos resultados se puede apreciar que el mejor modelo que se puede utilizar para la estimación de volúmenes a lo largo del fuste, es el Modelo de Bruce, no es extraño, ya que es el mismo modelo que mejor estima los diámetros sin corteza en esta clase de edad.

#### 5.5.4 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS AJUSTADOS PARA LA CLASE DE EDAD 2: ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES

Los estadígrafos de bondad de predicción para la estimación de volúmenes se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de la Validación Global, clase de edad 2.

ESTADÍGRAFOS	BRUCE	COFFRÉ	FRAZER
D.A. (m³)	0,820610	1,208132	-0,212386
E.M.A. (m³)	0,820610	1,208132	0,415187
R.E.C.M. (m³)	1,073687	1,541868	0,719776

Los resultados de la validación global se presentan en la Tabla 19, ésta se realizó en árboles mayores a 20 años, en ella se puede apreciar que el Modelo de Frazer presenta valores de sesgo y error medio absoluto menores a los otros dos modelos analizados, con valores de 0,21 y 0,41 m³ respectivamente.

Del análisis de las cifras se aprecia que los Modelos de Bruce y Coffré subestiman los volúmenes, en cambio el Modelo de Frazer sobreestima, en las trozas centrales del fuste, esto se puede observar en la Figura 7.

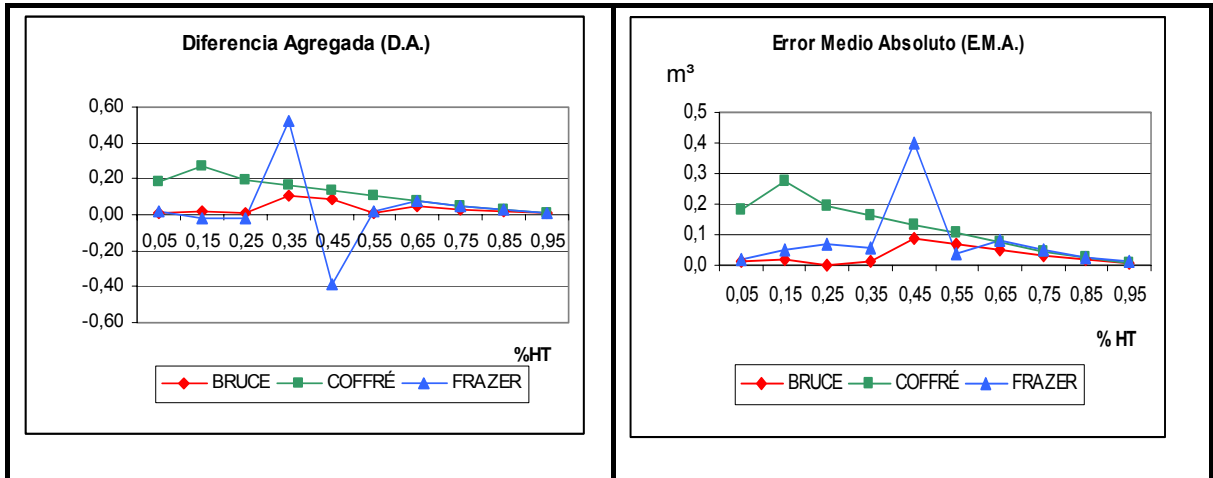


Figura 7. Gráfico de los estadígrafos de sesgo y error para la validación de la estimación de volúmenes para árboles mayores a 20 años.

Respecto de la estimación de volúmenes por troza, los resultados de la validación se presentan a continuación en la Tabla 20. En ella se puede observar, que el Modelo de Bruce obtuvo los menores valores de sesgo y del error medio absoluto en las tres primeras trozas, en todas con valores menores a 0,02 m<sup>3</sup>, valores muy cercanos fueron los que obtuvo el Modelo de Frazer.

En las trozas 4 y 5, fueron los Modelos de Bruce y el de Coffré los que obtuvieron menores valores de sesgo y error medio absoluto, los cuales estuvieron muy cercanos al 0,1 m<sup>3</sup> para ambos estadígrafos respectivamente. Para el Modelo de Frazer los valores fueron muy superiores a 0,38 y 0,05 m<sup>3</sup> respectivamente en ambos estadígrafos.

Tabla 20. Resultados de la Validación de los modelos, en la estimación de volúmenes por troza.

Modelo	BRUCE			COFFRÉ			FRAZER		
	D.A. (m <sup>3</sup> )	E.M.A. (m <sup>3</sup> )	R.E.C.M. (m <sup>3</sup> )	D.A. (m <sup>3</sup> )	E.M.A. (m <sup>3</sup> )	R.E.C.M. (m <sup>3</sup> )	D.A. (m <sup>3</sup> )	E.M.A. (m <sup>3</sup> )	R.E.C.M. (m <sup>3</sup> )
0,05HT	0,0139	0,0139	0,0195	0,1824	0,1824	0,2486	0,0178	0,0198	0,0318
0,15HT	0,0187	0,0187	0,0242	0,2737	0,2737	0,3491	-0,0152	0,0506	0,0854
0,25HT	0,0123	0,0012	0,1058	0,1955	0,1955	0,2432	-0,0213	0,0687	0,1071
0,35HT	0,1055	0,0106	0,0136	0,1645	0,1645	0,2044	0,5200	0,0556	0,0801
0,45HT	0,0877	0,0877	0,1163	0,1337	0,1337	0,1697	-0,3835	0,3983	0,6343
0,55HT	0,0071	0,0711	0,0100	0,1050	0,1050	0,1394	0,0188	0,0406	0,0542
0,65HT	0,0509	0,0511	0,0735	0,0742	0,0742	0,0998	0,0793	0,0793	0,1057
0,75HT	0,0325	0,0328	0,0498	0,0465	0,0465	0,0651	0,0512	0,0512	0,0703
0,85HT	0,0177	0,0187	0,0315	0,0243	0,0244	0,0382	0,0281	0,0281	0,0421
0,95HT	0,0066	0,0073	0,0122	0,0082	0,0084	0,0137	0,0104	0,0104	0,0159

Por último, en las cinco trozas superiores es el Modelo de Bruce el que obtuvo los menores valores de sesgo y error medio absoluto, con valores que no superaron 0,05 y 0,07 m<sup>3</sup> respectivamente para ambos estadígrafos.

Al realizar el análisis de las cifras los Modelos de Bruce y de Coffré subestiman en la totalidad de las trozas, en cambio el Modelo de Frazer sobreestima en la porción central del fuste.

El análisis de los resultados indica que el mejor modelo que se puede utilizar para la estimación de volúmenes, es el Modelo de Bruce.

## **5.6 CONSTRUCCIÓN DEL SIMULADOR**

El simulador de trozado se construyó considerando como lenguaje de programación Visual Basic® 6.0. Este simulador consiste en un software que permite calcular el número de trozas por tipo de producto especificado en el esquema de trozado. Todo esto, sumado al uso de la función de ahusamiento determinada previamente, permitirá realizar el proceso de trozado más eficiente, al considerar la forma fustal del árbol a trozar.

### **5.6.1 DISEÑO DEL SIMULADOR SEQUTROZ 1.0**

Para facilitar la comprensión del funcionamiento del simulador se describe a continuación el diseño lógico, que se conforma de tres partes principales, el ingreso de información, la obtención de información de proceso y por último la información de salida (Figura 8). El código asociado al diseño del simulador se describe en el Apéndice 9.5.

Para que el simulador ejecute el proceso de trozado, se debe ingresar la siguiente información:

- Esquema de trozado
- Etapa de crecimiento
- Variables dasométricas del árbol

Con la información anterior se calculan las siguientes variables de proceso:

- Di en la altura de corte Hi.
- Trozas Pi.
- Vol i.

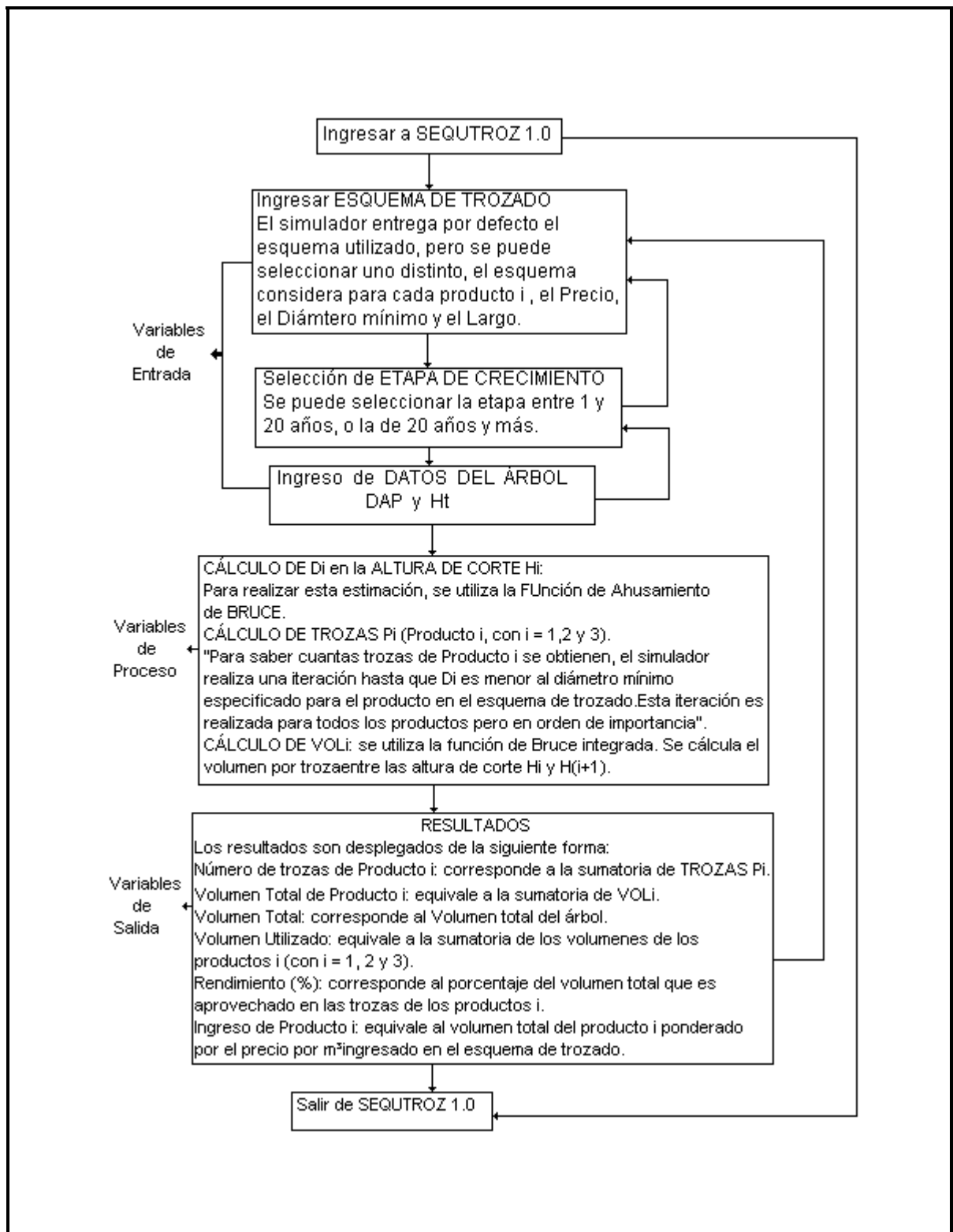


Figura 8. Diseño del simulador de trozado SEQUTROZ 1.0.

Las variables de entrada y de proceso permiten calcular las siguientes variables de salida:

- Total trozas Pi.
- Volumen total producto i.
- Volumen total del árbol.
- Volumen utilizado.
- Rendimiento.
- Ingreso total del Producto i.

## 5.7 VARIABLES DE ENTRADA

### 5.7.1 ESQUEMA DE TROZADO

Este simulador consideró una jerarquización de los productos según precio de venta, éstos se señalan en la Tabla 21, con esta información se pudo valorizar económicamente el proceso de trozado, cuyos detalles se presentan a continuación.

Tabla 21. Esquema de trozado.

TIPO DE PRODUCTO	PRECIO (\$/m <sup>3</sup> ) (*)	LARGO (m)	DIÁMETRO MÍNIMO (cm)	CALIDAD (Poda)
Remanufactura	38000	7	30	Con poda
Aserrable	19900	3,2	18	Sin poda
Polines	5500	2,44	8	Sin poda

Fuente: Nickel, 2000. (\*) Valor de troza puesta a orilla de camino.

El producto Remanufactura (Producto 1) corresponde a una troza aserrable, que presenta una gran proporción de nudos vivos (podada) y que es destinada a productos con alto valor estético, partes y piezas de muebles, por lo tanto su valor es más alto que los otros dos productos.

El producto Aserrable (Producto 2) es una troza no podada, que es destinada totalmente a la producción de madera aserrada.

El producto Polines (Producto 3) es una troza corta, que por sus dimensiones no puede ser aprovechada de forma aserrable, por lo que es destinada a polines para cercos, postes de variado uso y pulpa, si existiera el mercado y las características de la madera de secoya fueran acordes para este tipo de producción.

En Chile no existe un mercado reconocido de secoya, debido a que todavía no se realiza ninguna cosecha de las plantaciones establecidas hace algunas décadas. Además las plantaciones existentes son mixtas, junto a pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)).

Por esta razón, el manejo aplicado a las plantaciones, no considera la diferencia de especie, es decir, se aplican técnicas silviculturales sin distinción para toda la masa boscosa.

Por esto último, se consideraron que las dimensiones y precios de los productos de secoya son similares a los obtenidos de pino oregón, aunque deberían ser mayores debido a que las características mecánicas y estéticas de la madera de secoya son superiores (Toral y Ábalos, 2004).

### 5.7.2 ETAPA DE CRECIMIENTO

El simulador considera diferentes clases de edad, estas son dos y se indican a continuación en la Tabla 22.

Según Toral y Ábalos (2004), la rotación esperada para secoya en Chile es 40 años, mayor a la obtenida para pino insigne. Por esta razón es interesante conocer como se comporta la forma fustal a través de ese período de tiempo.

Tabla 22. Etapas de crecimiento utilizadas en el simulador de trozado.

ETAPAS DE CRECIMIENTO	INTERVALO
Clase de Edad 1	1 a 20 años
Clase de Edad 2	20 años y más.

Se analizaron diferentes amplitudes de clases de edad para conocer el comportamiento de la forma fustal, apreciando una diferencia notoria al utilizar la edad de 20 años como separador entre intervalos.

Además, antes de los 20 años se realizan raleos comerciales en las plantaciones de secoya existentes en el país, por lo que es otra razón para considerar esa edad como un límite adecuado para analizar la forma fustal de la especie, la diferencia de forma entre clases se puede observar en el Apéndice 9.2.

### 5.7.3 VARIABLES DASOMÉTRICAS

Estas variables están conformadas por el DAP y la Altura total (HT) del árbol a trozar, estas variables son de fácil obtención, ya que son obtenidas del proceso de inventario forestal.

Para poder realizar el proceso de trozado de forma correcta es necesario conocer la etapa de crecimiento en la cual se encuentra el árbol, ya que con esta información se seleccionará la función de ahusamiento más acorde a su edad.

## 5.8 VALIDACIÓN DEL SIMULADOR SEQUTROZ 1.0

Para analizar el comportamiento de la información de salida del simulador se realizaron 15 corridas, para validar la coherencia de los resultados obtenidos.

En cada corrida se trozó un árbol, para después analizar la relación existente entre la información ingresada y la de salida asociada a ella.

Se analizó sólo la información de salida correspondiente a número total de trozas y volumen total por producto. Para esto, se trozaron los árboles que se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Árboles trozados para validar SEQUTROZ 1.0

N° corrida	Edad	DAP (cm)	Ht (m)
1	12	17,84	10,20
2	12	18,61	11,55
3	17	24,32	16,95
4	22	29,26	19,80
5	26	34,10	22,60
6	27	44,25	22,30
7	27	31,51	20,55
8	30	43,00	26,80
9	31	49,60	27,58
10	31	57,32	23,11
11	43	50,25	36,90
12	43	48,97	37,25
13	44	66,06	38,45
14	44	45,06	37,20
15	47	43,42	33,39

Los resultados del trozado de las 15 corridas se muestran a continuación en la Tabla 24.



Tabla 24. Resultado del trozado para validar SEQUTROZ 1.0.

N° corrida	Edad	DAP (cm)	Ht (m)	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Volumen P1 (m³)	Volumen P2 (m³)	Volumen P3 (m³)
1	12	17,84	10,2	0	0	2	0,000	0,000	0,116
2	12	18,61	11,55	0	0	3	0,000	0,000	0,125
3	17	24,32	16,95	0	1	3	0,000	0,169	0,131
4	22	29,26	19,8	0	2	3	0,000	0,329	0,145
5	26	34,1	22,6	0	3	3	0,000	0,470	0,132
6	27	44,25	22,3	0	4	2	0,000	0,852	0,111
7	27	31,51	20,55	0	2	4	0,000	0,372	0,176
8	30	43	26,8	0	5	2	0,000	0,805	0,088
9	31	49,6	27,58	1	3	3	1,115	0,508	0,116
10	31	57,32	23,11	1	2	2	1,687	0,583	0,180
11	43	50,25	36,9	1	5	3	0,935	0,651	0,102
12	43	48,97	37,25	1	5	3	0,882	0,620	0,100
13	44	66,06	38,45	2	4	3	1,921	0,631	0,108
14	44	45,06	37,2	1	5	3	0,748	0,525	0,084
15	47	43,42	33,39	0	6	3	0,000	0,812	0,101

La información de salida obtenida, en ningún caso resultó fuera de lo esperado, considerando las características ingresadas de cada uno de los árboles.

Los resultados obtenidos son muy coherentes, debido a que se obtuvieron trozas de grandes dimensiones sólo en árboles sobre 45 cm de DAP, y en árboles con dimensiones menores a las anteriores, se lograron sólo productos polines, como consecuencia de que las especificaciones de los otros productos son muy exigentes y difíciles de obtener en árboles de esas características.

Además, el número de trozas obtenidas en los árboles de más edad nunca superó las 10, considerando que en un árbol de altura total cercana a los 35 metros es un valor adecuado.

Por otra parte, los volúmenes entregados por el simulador para cada troza, presentan valores adecuados a las características de los productos, por ejemplo, las trozas remanufactura presentan valores cercanos a 1 m³, debido a que no hay límite de diámetro mayor para este producto sólo de diámetro menor, y considerando también su longitud.

En cambio, para los productos polines, como son obtenidos de la parte superior del fuste deben tener valores menores a 0,5 m³.

## 5.9 VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO DE TROZADO

Al realizar el proceso de trozado considerando la jerarquización de los productos según precio, calidad y exigencias del producto, se logró valorizar económicamente éste, obteniéndose los siguientes resultados.

### 5.9.1 SELECCIÓN DE ÁRBOLES PARA EL PROCESO DE TROZADO

Los datos de los árboles seleccionados para realizar el trozado se presentan en la Tabla 25.

Cabe señalar que solamente la clase de edad 35 a 40 años esta vacía por carecer de ejemplares de esa edad, en cambio todo el resto de clases cumple con los dos árboles para trozar.

Tabla 25. Árboles seleccionados para el trozado, ordenados por clase de edad.

CLASE DE EDAD	DAP (cm)	HT (m)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
10-15	17,84	10,20	0,12
	18,61	11,55	0,13
15-20	20,83	14,30	0,20
	24,32	16,95	0,30
20-25	29,26	19,80	0,50
	37,99	21,30	1,03
25-30	34,10	22,60	0,95
	38,20	23,90	1,21
30-35	54,00	24,50	2,06
	57,32	23,11	2,34
35-40	-	-	-
	-	-	-
40-45	84,17	34,80	6,14 <sup>(4)</sup>
	66,16	38,00	3,08
45-50	71,37	37,50	3,23
	54,95	34,30	2,16

---

<sup>(4)</sup> Árbol obtenido desde el Centro de semillas de Chillán, VIII Región. Este árbol presentaba en la parte basal grandes contrafuertes y un gran diámetro en gran parte del fuste. La mayor parte del volumen se concentró en las primeras trozas, con volúmenes superiores a 1 m<sup>3</sup> cada una de ellas.

## 5.9.2 PROCESO DE TROZADO

Los resultados del proceso de trozado se separaron en número de trozas y en cálculo de volúmenes, para facilitar el entendimiento de los resultados. Además se realizó un análisis del rendimiento y ingresos obtenidos en el proceso de trozado.

Los resultados que se obtuvieron al realizar el trozado, considerando sólo el número de trozas por cada tipo de producto se presentan en la Tabla 26.

Los resultados de la planilla de cálculo y los que arrojó el simulador de trozado SEQUTROZ 1.0, coincidieron completamente (100%), al hablar de número de trozas por tipo de producto.

Los cálculos de diámetros como de volúmenes que en este proceso se realizaron, fueron obtenidos al utilizar la función de ahusamiento ajustada previamente.

Los resultados del proceso de trozado, pero analizado por clase de edad se pueden observar en la Figura 9.

Tabla 26. Resultados del trozado: Número de trozas.

CLASE DE EDAD	DAP (cm)	HT (m)	PLANILLA DE CÁLCULO			SEQUTROZ 1.0		
			PRODUCTO 1	PRODUCTO 2	PRODUCTO 3	PRODUCTO 1	PRODUCTO 2	PRODUCTO 3
10 - 15	17,84	10,20	0	0	2	0	0	2
	18,61	11,55	0	0	3	0	0	3
15 - 20	20,83	14,30	0	0	4	0	0	4
	24,32	16,95	0	1	3	0	1	3
20 - 25	29,26	19,80	0	2	3	0	2	3
	37,99	21,30	0	3	3	0	3	3
25 - 30	34,10	22,60	0	3	3	0	3	3
	38,20	23,90	0	4	3	0	4	3
30 - 35	54,00	24,50	1	3	2	1	3	2
	57,32	23,11	1	2	2	1	2	2
35 - 40	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
40 - 45	84,17	34,80	2	3	3	2	3	3
	66,16	38,00	2	4	3	2	4	3
45 - 50	71,37	37,50	2	4	2	2	4	2
	54,95	34,30	1	5	3	1	5	3
TOTAL			9	34	39	9	34	39

En las clases de edad inferiores el producto que más se obtiene es el producto Polines (100%), en las clases medias el producto Aserrable es dominante (57%) sin la obtención de producto Remanufactura, y por último en las clases superiores (cerca de 40 años) el

producto que más se obtiene es el producto Aserrable(50%), seguido con igual porcentaje (25%) los productos Remanufactura y Polines.

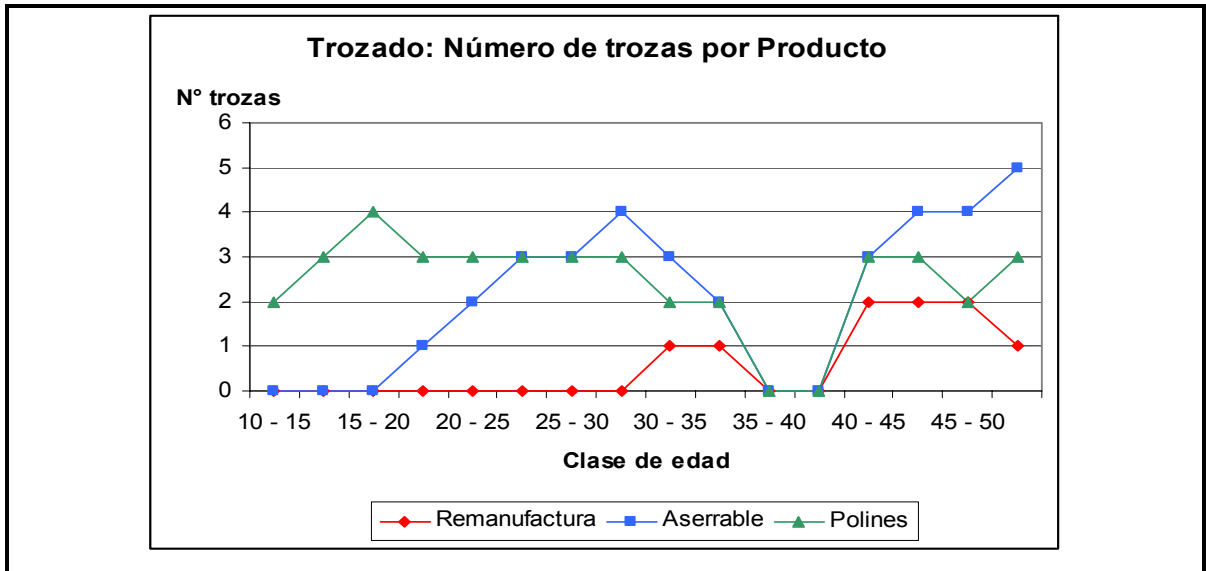


Figura 9. Análisis gráfico del proceso de trozado, considerando el número de trozas por clase de edad.

Los resultados que se obtuvieron al realizar el trozado, considerando sólo los volúmenes por cada producto se presentan en la Tabla 27.

En ella se puede observar la similitud que existe entre los volúmenes de los productos obtenidos de la parte central y superior del fuste, con los obtenidos al realizar el trozado en la planilla de cálculo, ya que la estimación de la forma en esta sección no es complicada. Lo que no ocurre con la parte basal, en donde generalmente existen errores de estimación, por no existir una correcta modelación de la forma.

Por lo tanto, el simulador al considerar la forma fustal en la estimación de volúmenes, no sobre dimensiona los volúmenes en esta sección, sino que disminuye el error de estimación de esta variable. Acercándose cada vez más, al valor observado de las trozas obtenidas en la parte basal del fuste.

En el caso de la estimación de volúmenes por tipo de producto realizada en planilla de cálculo, se utilizó la fórmula de Smalian para cada troza, para obtener el volumen total de ese producto mediante una sumatoria simple.

La razón de utilizar Smalian, en el cálculo de volúmenes por tipo de producto al trozar mediante planilla de cálculo, fue comparar los resultados del simulador que sí considera la forma del fuste versus una estimación que lo hace en forma implícita.

Tabla 27. Resultados del trozado: Cálculo de volúmenes.

CLASE DE EDAD	DAP (cm)	HT (m)	PLANILLA DE CÁLCULO			SEQUTROZ 1.0		
			VOLUMEN PRODUCTO 1 (m³)	VOLUMEN PRODUCTO 2 (m³)	VOLUMEN PRODUCTO 3 (m³)	VOLUMEN PRODUCTO 1 (m³)	VOLUMEN PRODUCTO 2 (m³)	VOLUMEN PRODUCTO 3 (m³)
10 - 15	17,84	10,20	0,000	0,000	0,084	0,000	0,000	0,116
	18,61	11,55	0,000	0,000	0,105	0,000	0,000	0,125
15 - 20	20,83	14,30	0,000	0,000	0,111	0,000	0,000	0,156
	24,32	16,95	0,000	0,085	0,107	0,000	0,169	0,131
20 - 25	29,26	19,80	0,000	0,290	0,145	0,000	0,329	0,145
	37,99	21,30	0,000	0,652	0,154	0,000	0,600	0,149
25 - 30	34,10	22,60	0,000	0,531	0,145	0,000	0,470	0,132
	38,20	23,90	0,000	0,905	0,138	0,000	0,622	0,100
30 - 35	54,00	24,50	1,397	0,560	0,079	1,437	0,570	0,087
	57,32	23,11	1,628	0,460	0,158	1,687	0,583	0,180
35 - 40	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
40 - 45	84,17	34,80	4,515	0,598	0,152	3,247	0,858	0,200
	66,16	38,00	2,769	0,678	0,113	1,937	0,625	0,101
45 - 50	71,37	37,50	3,202	0,703	0,092	2,265	0,716	0,108
	54,95	34,30	1,421	0,973	0,116	1,175	0,759	0,090
TOTAL			14,933	6,433	1,700	11,747	6,300	1,819

Los resultados obtenidos del volumen por producto, en donde se compara el volumen obtenido por planilla de cálculo y el que arrojó SEQUTROZ 1.0, se muestra en la Figura 10.

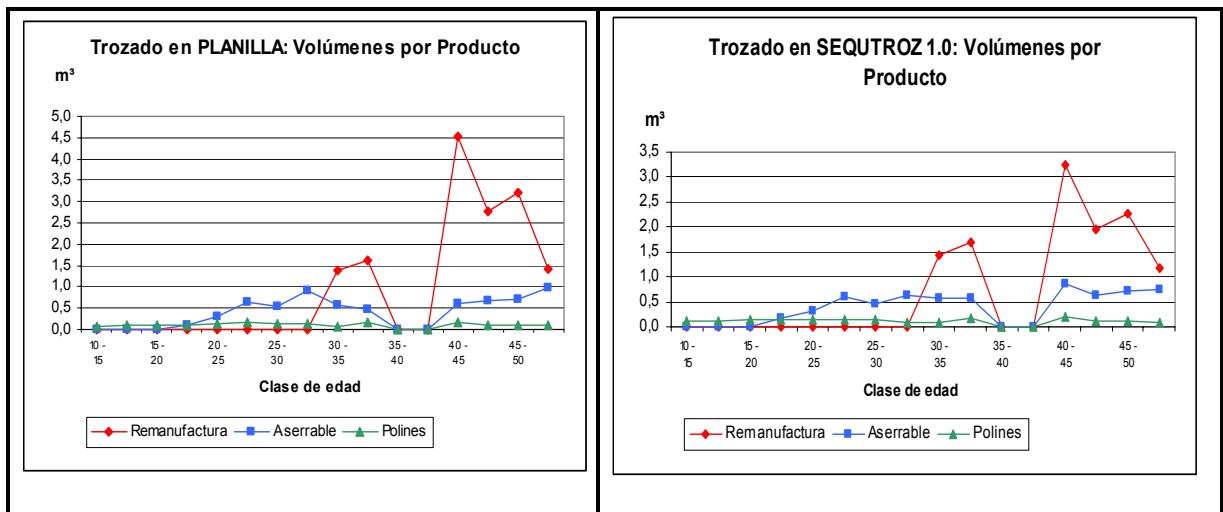


Figura 10. Comparación entre volúmenes por producto obtenidos en Planilla de cálculo y SEQUTROZ 1.0.

En la Tabla 28 se presenta el resumen del trozado realizado, en ella se señala la cantidad total de trozas por producto y sus volúmenes, además del porcentaje que representa cada uno de ellos.

En el caso del volumen por tipo de producto el valor que entrega el simulador es un poco menor en los Productos 1 y 2, excepto en el Producto 3.

Tabla 28. Resumen del trozado. Comparación entre planilla de cálculo y Seqtroz 1.0.

FORMA DE TROZADO	TIPO PRODUCTO	TOTALP1	TOTALP2	TOTALP3	TOTAL TROZAS	VOL. TOTAL P1 (m³)	VOL. TOTAL P2 (m³)	VOL. TOTAL P3 (m³)	VOL. TOTAL (m³)
Planilla de cálculo	N° trozas	9	35	38	82	14,933	6,433	1,700	23,066
	%	10,98	41,46	47,56	100,00	64,74	27,89	7,37	100,00
Seqtroz 1.0	N° trozas	9	35	38	82	11,747	6,300	1,819	19,867
	%	10,98	41,46	47,56	100,00	59,13	31,71	9,16	100,00

Hay que considerar que el simulador, utiliza la función de ahusamiento para el cálculo de diámetros y de volúmenes. Esto último, influye de manera importante el momento de tomar algún tipo de decisión con respecto a la venta de estos productos, ya que no se considera un volumen excesivo inexistente, lo que podría evitar problemas de falta de existencias.

Como se puede apreciar el porcentaje de trozas es muy favorable para las trozas de Producto 3 “Polines”, con casi el 48 % de las existencias, contra un 11 % perteneciente al Producto 1 “Remanufactura”, en el caso del Producto 2 “Aserrable”, éste igualmente representa un porcentaje importante del total de trozas obtenidas con un 41 %.

Al analizar la representación de cada uno de los productos en el volumen total del trozado obtenido mediante planilla de cálculo, ocurre totalmente lo contrario, ya que el Producto 1 “Remanufactura” corresponde al 65 % del total de volumen obtenido del trozado, seguido por el Producto 2 “Aserrable” con un 28 % y por último, el Producto 3 “Polines” con un 7 %.

Algo similar ocurre con los resultados obtenidos del trozado según SEQUTROZ 1.0, ya que el Producto 1 corresponde al 59 % del total de volumen obtenido del trozado, seguido por el Producto 2 con un 32 % y por último, el Producto 3 con un 9 %.

Esto se explica, ya que en el caso del Producto 1, se obtienen muy pocas trozas, pero éstas son de grandes dimensiones y representan un gran volumen del total obtenido, en cambio el Producto 3, se obtiene una gran cantidad de trozas pero son productos de

dimensiones muy reducidas, lo que se traduce en un volumen muy pequeño considerando el volumen total.

En el caso del Producto 2, el número de trozas obtenidas no es despreciable, pero al ser un producto de dimensiones más reducidas que el Producto 1, se traduce que se obtiene casi la mitad del volumen de este último.

El análisis del número de trozas por tipo de producto separado por clase de edad se presenta en la Tabla 29.

Se puede apreciar que las clases inferiores a 20 años la totalidad de los productos obtenidos pertenecen al Producto 3, en cambio en las clases de edad entre 20 y 30 años, se obtienen Productos 2 y 3.

En las clases más cercanas a 20 años el Producto 3 es el principal, con una presencia poco relevante del Producto 2, pero en las clases de edad más cercanas a 30 años, su presencia se ve incrementada superando al Producto 3 con un 57%.

En las clases superiores a 30 años, comienza la obtención del Producto 1, con porcentajes poco importantes, pero a medida que avanza en edad esto se revierte logrando en las clases superiores representaciones cercanas al 25%. Porcentaje muy similar al obtenido por el Producto 3, y muy lejano al del Producto 2 (cercano a 50%).

Tabla 29. Representación de cada producto por clase de edad.

CLASE DE EDAD	DAP (cm)	HT (m)	PRODUCTO 1	PRODUCTO 2	PRODUCTO 3	% P1	% P2	% P3
10 - 15	17,84	10,20	0	0	2	0,0	0,0	100,0
	18,61	11,55	0	0	3	0,0	0,0	100,0
15 - 20	20,83	14,30	0	0	4	0,0	0,0	100,0
	24,32	16,95	0	1	3	0,0	25,0	75,0
20 - 25	29,26	19,80	0	2	3	0,0	40,0	60,0
	37,99	21,30	0	3	3	0,0	50,0	50,0
25 - 30	34,10	22,60	0	3	3	0,0	50,0	50,0
	38,20	23,90	0	4	3	0,0	57,1	42,9
30 - 35	54,00	24,50	1	3	2	16,7	50,0	33,3
	57,32	23,11	1	2	2	20,0	40,0	40,0
35 - 40	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
40 - 45	84,17	34,80	2	3	3	25,0	37,5	37,5
	66,16	38,00	2	4	3	22,2	44,4	33,3
45 - 50	71,37	37,50	2	4	2	25,0	50,0	25,0
	54,95	34,30	1	5	3	11,1	55,6	33,3
TOTAL			9	34	39	11,0	41,5	47,6

Los resultados considerando los volúmenes por tipo de producto, según el DAP se pueden observar en la Figura 11.

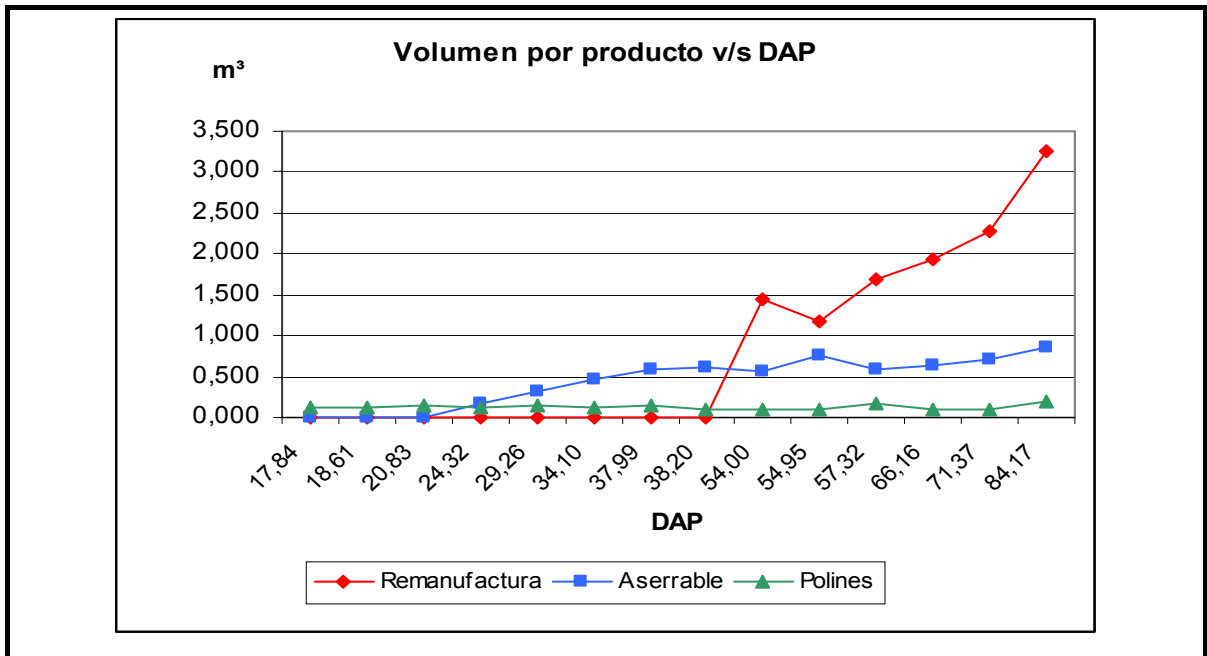


Figura 11. Productos obtenidos según DAP.

Se observa en la figura anterior una relación positiva entre el producto remanufactura y valores de DAP cercanos a 50 cm, en cambio el producto polines nunca supera el m³ por troza.

### 5.9.3 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE TROZADO

Para realizar una buena comparación con los resultados obtenidos en el simulador, a continuación se presenta en la Tabla 30, una comparación entre el rendimiento obtenido del trozado realizado en planilla de cálculo y el obtenido mediante SEQUTROZ 1.0.

Los valores de volumen total en la planilla de cálculo se calcularon mediante Smalian, para cada uno de los árboles, se consideraron 10 trozas, a las cuales se les cálculo su volumen, para posteriormente mediante una sumatoria obtener el volumen total por árbol.

Como se puede apreciar, los rendimientos obtenidos mediante planilla de cálculo son muy bajos en las clases de edad inferiores, pero a medida que aumenta la edad los rendimientos se sobre dimensionan, incluso se obtienen rendimientos cercanos al 125 %, lo que sin dudar es errado.



Esto puede ser explicado debido a que se utiliza la función de ahusamiento para el cálculo de la altura de corte, pero al momento de calcular el volumen se utiliza otro método no tan exacto, provocando cierto grado de sesgo.

Tabla 30. Rendimiento del trozado. Comparación entre planilla de cálculo y Sequtroz 1.0.

CLASE DE EDAD	DAP (cm)	HT (m)	PLANILLA DE CÁLCULO			SEQUTROZ 1.0		
			VOLUMEN UTIL (m³)	VOL. TOTAL ARBOL (m³)	RENDIMIENTO (%/árbol)	VOLUMEN UTIL (m³)	VOL. TOTAL ARBOL (m³)	RENDIMIENTO (%/árbol)
10 - 15	17,84	10,20	0,084	0,120	69,926	0,116	0,126	92,669
	18,61	11,55	0,105	0,130	80,906	0,125	0,139	89,993
15 - 20	20,83	14,30	0,111	0,200	55,729	0,156	0,169	92,203
	24,32	16,95	0,192	0,300	63,851	0,300	0,324	92,410
20 - 25	29,26	19,80	0,435	0,500	86,982	0,474	0,510	92,863
	37,99	21,30	0,806	1,030	78,283	0,749	0,797	93,892
25 - 30	34,10	22,60	0,676	0,950	71,162	0,602	0,645	93,328
	38,20	23,90	1,042	1,210	86,130	0,722	0,766	94,291
30 - 35	54,00	24,50	2,036	2,060	98,848	2,093	2,191	95,550
	57,32	23,11	2,246	2,340	95,992	2,449	2,583	94,820
35 - 40	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
40 - 45	84,17	34,80	5,265	6,140	85,743	4,305	4,577	94,060
	66,16	38,00	3,560	3,080	115,593	2,662	2,806	94,889
45 - 50	71,37	37,50	3,997	3,230	123,747	3,089	3,279	94,220
	54,95	34,30	2,510	2,160	116,212	2,025	2,118	95,572
TOTAL			23,066	23,450	98,363	19,867	21,029	94,471

Lo anterior cambia al realizar el cálculo del rendimiento global, utilizando los valores totales de volumen útil y volumen total, el rendimiento es más coherente, pero esto sucede por una compensación entre las clases de edad, lo que no soluciona el problema de estimación.

En cambio al realizar el análisis del trozado mediante SEQUTROZ 1.0, se puede observar que el rendimiento se encuentra entre un 90 y un 95 %, lo que indica un muy buen aprovechamiento del volumen total de cada árbol trozado. Esto puede ser explicado, ya que al considerar la forma fustal en el cálculo de volúmenes, los valores de esta variable nunca serán sobre dimensionados.

#### 5.9.4 INGRESO OBTENIDO DEL PROCESO DE TROZADO

Considerando los valores por metro cúbico puesto a orilla de camino y los valores de volúmenes obtenidos en el trozado, se obtuvieron los siguientes ingresos, los cuales se muestran en la Tabla 31.

Cabe señalar, que estos valores de ingreso por tipo de producto del trozado mediante planilla de cálculo, fueron obtenidos al considerar los volúmenes según Smalian, los cuales entregan una visión excesiva del tamaño real de los árboles trozados.

Por esta razón, esta información presenta los mismos problemas mencionados para un tomador de decisiones, el cual necesita datos consistentes y lo más cercanos a la realidad.

Aunque los valores de ingresos presentados en la Tabla 31, que fueron obtenidos mediante el trozado en planilla de cálculo, son muy atractivos económicamente, como se señaló previamente éstos están sesgados y alejados de la realidad.

Como se puede observar los ingresos por el trozado realizado por el simulador SEQUTROZ 1.0, son menores a los obtenidos en el trozado mediante planilla de cálculo, esto se puede explicar debido a que el simulador al considerar la forma fustal, no sobreestima los volúmenes de cada uno de los productos, sino que son más aterrizados que los obtenidos por el método de Smalian.

Tabla 31. Valoración económica del proceso de trozado.

CLASE DE EDAD	DAP (cm)	HT (m)	PLANILLA DE CÁLCULO			SEQUTROZ 1.0		
			INGRESO P1 (\$/m³)	INGRESO P2 (\$/m³)	INGRESO P3 (\$/m³)	INGRESO P1 (\$/m³)	INGRESO P2 (\$/m³)	INGRESO P3 (\$/m³)
10 – 15	17,84	10,20	0	0	3189	0	0	640
	18,61	11,55	0	0	3997	0	0	688
15 – 20	20,83	14,30	0	0	4235	0	0	859
	24,32	16,95	0	3211	4068	0	3363	718
20 – 25	29,26	19,80	0	11033	5493	0	6551	795
	37,99	21,30	0	24777	5863	0	11932	819
25 – 30	34,10	22,60	0	20180	5510	0	9347	725
	38,20	23,90	0	34377	5226	0	12376	549
30 – 35	54,00	24,50	53096	21267	3016	54598	11341	477
	57,32	23,11	61874	17464	6018	64091	11596	991
35 – 40	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
40 – 45	84,17	34,80	171566	22707	5783	123375	17078	1101
	66,16	38,00	105226	25752	4312	73591	12434	555
45 – 50	71,37	37,50	121690	26702	3494	86085	14256	591
	54,95	34,30	53992	36987	4407	44658	15104	497
TOTAL			567444	244457	64611	446397	125378	10004

Producto de lo anterior, el tomador de decisiones se puede basar en información más certera y fidedigna que la obtenida en la planilla de cálculo, lo que produce mejores resultados en la planificación de las ventas de los productos.

## 6 CONCLUSIONES

### 6.1 CONCLUSIONES PRINCIPALES

De los resultados obtenidos para el ajuste de la función de ahusamiento se puede concluir:

- Al analizar diferentes amplitudes de clases de edad se seleccionó la edad de 20 años como un correcto separador de cambio de forma, con esto se separaron en dos clases de edad, las cuales presentaron diferencias apreciables entre ellas, por esta razón se ajustaron los modelos seleccionados en forma separada.
- El modelo que mejor estimó los diámetros sin corteza y volúmenes en árboles entre 1 y 20 años de edad fue el Modelo de Bruce.
- El modelo que mejor estimó los diámetros sin corteza y volúmenes en árboles mayores a 20 años de edad fue el Modelo de Bruce.
- Por estas razones, el mejor modelo a ser utilizado para la simulación del trozado, en ambas clases de edad es el Modelo de Bruce.
- Realizar el trozado sin la utilización de una función que modele la forma fustal, puede provocar problemas en la toma de decisiones, debido a que se obtienen resultados sobre dimensionados.
- El análisis del trozado de las diferentes clases de edad, entrega una aproximación a una rotación más beneficiosa desde el punto de vista volumétrico y por ende económico, por esto, se considera adecuada la edad de 40 años, como edad de cosecha.
- Esto último debido a que a esta edad se pueden obtener trozas muy cotizadas económicamente, lo que recompensaría de todas maneras la mayor espera de tiempo.
- En las clases de edad inferiores el producto que más se obtiene es el producto Polines (100%), en las clases medias el producto Aserrable es dominante (57%) sin la obtención de producto Remanufactura, y por último en las clases superiores (cerca de 40 años) el producto que más se obtiene es el producto Aserrable (50%), seguido con igual porcentaje (25%) los productos Remanufactura y Polines.

## 6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

### 6.2.1 ÁRBOLES ENTRE 1 Y 20 AÑOS DE EDAD

- El mejor modelo que se obtuvo para la estimación de diámetros sin corteza a lo largo del fuste, para esta edad fue el Modelo de Bruce.
- En el análisis de la estimación de diámetros sin corteza para árboles entre 1 y 20 años de edad, el Modelo de Bruce solo sobreestima en dos de las trozas a lo largo del fuste, lo que no ocurre con el Modelo de Coffré, que sobreestima en casi la totalidad de las trozas, salvo en la dos trozas extremas, en cambio el Modelo de Frazer, sobreestima algunas trozas centrales.
- En lo referente, a la estimación de volúmenes, el modelo mejor evaluado fue el Modelo de Bruce, lo que permite que sea seleccionado para ambas estimaciones sin ningún problema.
- En el análisis de la estimación de volúmenes, el Modelo de Bruce sobreestima las trozas superiores, el Modelo de Coffré subestima en la totalidad de las trozas a lo largo del fuste y por último el Modelo de Frazer, sobreestima en la parte central del fuste.
- El análisis fustal para árboles de esta edad, utilizando el Modelo de Frazer arrojó que el cambio de forma de un neiloide a un paraboloides ocurre al 39,2% de la altura total del árbol, en cambio el punto de inflexión entre un paraboloides y un conoide se encuentra al 60,8% de la altura total del árbol.

### 6.2.2 ÁRBOLES MAYORES A 20 AÑOS DE EDAD

- El modelo que mejor estimó los diámetros sin corteza, fue el Modelo de Bruce, ya que obtuvo los menores valores de los estadígrafos de bondad de predicción.
- El análisis de la estimación de diámetros sin corteza para árboles mayores a 20 años, los Modelos de Bruce y Coffré, sobreestiman en algunas trozas de la base y en las trozas superiores, en cambio el Modelo de Frazer, sólo sobreestima en las tres trozas basales.
- En la estimación de volúmenes para árboles en este rango de edad, el mejor modelo para la estimación de volúmenes es el Modelo de Bruce.

- En el análisis de la estimación de volúmenes, tanto el Modelo de Bruce como el de Coffré subestiman en la totalidad del fuste, en cambio el Modelo de Frazer sólo sobreestima en algunas trozas de la parte central inferior del fuste.
- El análisis fustal de los árboles mayores a 20 años, utilizando el modelo de Frazer arrojó que el cambio de forma de un neiloide a un paraboloides al 40,2% de la altura total del árbol, en cambio el punto de inflexión entre un paraboloides y un conoide se encuentra al 52,2% de la altura total del árbol.

### 6.2.3 SIMULADOR DE TROZADO SEQUTROZ 1.0

- Un análisis general del trozado considerando el número total de trozas obtenidas que fueron 82, de las cuales la mayor parte corresponde a Polines, seguido por las trozas Aserrables y por último las trozas Remanufactura.
- Los resultados de número de trozas y sus correspondientes volúmenes son inversos, ya que pocas trozas de producto Remanufactura concentran el 59 % del volumen total obtenido en el proceso de trozado, seguido por las trozas de producto Aserrable que representa el 32 % del total y por último las trozas del producto Polines solamente con un 9 % del total de volumen obtenido.
- El rendimiento por árbol del proceso de trozado obtenido al utilizar SEQUTROZ 1.0, esta entre un 90 % y un 95 %, lo que es muy alto, indicando un muy buen aprovechamiento del volumen total del árbol, obteniendo en orden jerárquico los productos que aporten una mayor volumen y por ende un mayor ingreso.
- El ingreso obtenido del trozado usando SEQUTROZ 1.0 fue mayor para el producto Remanufactura, superando más de dos veces al valor obtenido por el producto Aserrable y mas de 40 veces al ingreso del producto Polines.

## **7 LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 LIMITACIONES**

Las limitaciones del estudio realizado se presentan a continuación:

- Es la primera aproximación al problema de conocer la forma fustal de secoya en Chile.
- La muestra inicial de 36 árboles limita el estudio, por la escasez de material dasométrico, que permitan realizar un análisis fustal correcto. Además que la obtención de muy pocas rodela en la parte basal no permiten realizar un adecuado ajuste en esa porción del fuste, considerando que la mayor parte de los modelos no se comporta correctamente en ella.
- La separación sólo en dos clases de edad es generalizar demasiado respecto de la diferencia que existe en la forma fustal en secoya a lo largo de todo su desarrollo, además esta especie tiene un crecimiento activo a edades mayores a las escogidas.
- Utilizar individuos de variadas procedencias como Chillán y Antiquina (VIII Región), Villarrica (IX Región) y por último Lanco y Frutillar (X Región), es aseverar que no existen diferencias notorias en las características climáticas y edáficas entre ellas, la cual es una afirmación errada y que puede influir en la información obtenida acerca de la forma fustal de la especie en Chile.

### **7.2 RECOMENDACIONES**

- Las recomendaciones que se presentan a continuación esta estrechamente relacionadas con las limitaciones del estudio.
- Se debería continuar investigando acerca de la forma fustal que puede obtener la especie en Chile.
- En estudios futuros se debe asegurar la utilización de una muestra realmente significativa, considerando además la posibilidad de obtener de cada uno de los árboles volteados rodela cada un metro y del DAP, lo que permitiría realizar un ajuste más adecuado de la zona basal.

- Considerar clases de edad con amplitudes menores y una edad de análisis superior a 40 años, ya que secoya es una especie que tiene un crecimiento activo en edades superiores a las escogidas en esta memoria.
- Por último, realizar un análisis de forma fustal para cada una de las zonas antes señaladas y de las que sean potenciales para la especie en Chile, que no fueron consideradas en esta memoria, pero que sería de gran importancia para la masificación de secoya como especie promisoría para el sector forestal chileno.



## 8 BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, C., CALDERÓN, S Y ZUNINO, C. 1992. Soporte lógico para simular el trozado en bosques de Eucalyptus. En: Modelos Forestales, Taller Internacional: 21-22 de Marzo de 1991. Santiago, Chile. INFOR (Filial CORFO). pp 233-265.
- AVERY, T. BURKHART, H. 1994. Forest Measurements. Fourth edition. McGraw-Hill series in forest resources. United States. 408 p.
- BANDAK, I. 1995. Validación de las funciones de ahusamiento del sistema de inventario forestal en uso en la Empresa Forestal Valdivia S.A. Tesis de Ingeniería Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. Chile. 97 p.
- CANCINO, J. 2000. Función de ahusamiento para la especie Pinus radiata (D. Don), sector seco interior, VII Región, Chile. Tesis de Ingeniería Forestal. Talca, Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 31 p.
- CARVAJAL, C. 1998. Variación temporal de la forma fustal de Pinus radiata D. Don, en un rodal de 42 años de edad. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 43 p.
- COFFRÉ, L. 1983. Modelos Fustales. Tesis de Ingeniería Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. Chile. 46 p.
- CORVALÁN, P. 1992. Un modelo optimizador de corta y trozado en Eucalyptus globulus. En: Modelos Forestales, Taller Internacional: 21-22 de Marzo de 1991. Santiago, Chile. INFOR (Filial CORFO). pp 266-284.
- DIAZ, M. 2000. Desarrollo y evaluación de funciones de ahusamiento para Pinus radiata (D. Don) en la Comuna de Pichilemu. Tesis de Ingeniería Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. Chile. 88 p.
- HARLOW, W. HARRAR, E Y WHITE, F. 1969. Textbook of Dendrology, covering the important forest trees of the United States and Canada. Fifth edition. Nueva York (EEUU). 512 p.
- HARRAR, E.S. 1962. Guide to Southern Trees. Nueva York (EEUU). 709 p.

- INFOR. 1997. Inventarios forestales: Plantaciones forestales en Chile. [En línea]<<http://www.infor.cl/>>. 16 de mayo 2002. [consulta: 9 Junio, 2003].
- MARTINS, M. 1999. Visual Basic 6.0 edición Profesional en un solo libro. Editorial GYR. Argentina. 291 p.
- MATTHEI, P. 1994. Programa de secado artificial para madera de Sequoia crecida en Chile (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.). Tesis de Ingeniería Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. Chile. 82 p.
- NICKEL, P. 2000. Proposición de un esquema de manejo para plantaciones de Pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en el Fundo Voipir, Villarrica, Chile. Tesis de Ingeniería Forestal. Temuco, Universidad Católica de Temuco, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Chile. 89 p.
- OBREQUE, C. 1993. Un esquema interactivo para el trozado óptimo de los árboles en bosque. Tesis de Magister en Ciencias, Mención Computación. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Chile. 86 p.
- PERA, R. 1982. Modelo de ahusamiento del fuste de árboles de Pino insigne. Tesis de Ingeniería Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. Chile. 42 p.
- PRODAN, M. PETERS, R. COX, F. REAL, P. 1997. Mensura Forestal. IICA-GTZ. San José, Costa Rica. 561 p.
- QUAPPE, J. 1986. Debobinado y Encolado Fenólico de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. Tesis de Ingeniería Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 48 p.
- RAMIREZ, J. 2002. *Sequoia Sempervirens*: Para tomar en cuenta. Chile Forestal N°290: 27-29.
- RECORD, S. HESS, R. 1947. Identification of the Timbers of Temperate North America. New York (EEUU). 210 p.
- SÁEZ, A. 1997. Funciones de ahusamiento para Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) en la Provincia de Valdivia. Tesis de Ingeniería Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 70 p.

- SALAS, S. 2000. Simulador de crecimiento con fines docentes para algunas especies forestales. Tesis de Ingeniería Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 98 p.
- TAPIA, P. 1999. Validación de la información proporcionada por una función de ahusamiento ajustada en base al patrimonio de Forestal Río Vergara S.A. Tesis de Ingeniería Forestal. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 62 p.
- TITMUS, F.H. 1948. A concise Encyclopedia of world timbers. London. 156 p.
- TORAL, M. 2002. Proyecto FONDEF D01 I 1008 "Silvicultura y Manejo de la Sequoia en Chile y Fomento de su Plantación Forestal Sustentable. [en línea] <<http://146.83.41.79/profesor/mtoral/sequoia/Index.htm>>. [consulta: 5 Junio, 2003].
- TORAL, M. ÁBALOS, M. 2004. Análisis de mercado internacional y nacional de la madera de Secoya. Informe Interno. Proyecto FONDEF D01 I 1008. Santiago, Chile. 59 p.
- TORRES, F. 2000. Cálculo de volumen de madera de Pinus radiata D. Don asistido por computador. Tesis de Ingeniería Forestal. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 46 p.
- UNDURRAGA, M. 1995. Maquinado y algunas propiedades físico y mecánicas de Sequoia sempervirens (D. Don) Endl. Creciendo en Chile. Tesis de Ingeniería Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias forestales. Chile. 108 p.
- VALDÉS, H. 2004. Modelos computacionales: Programando el futuro de la industria forestal. Lignum N°71 Mayo: 12-18.
- VILLANUEVA, J. 1995. Durabilidad natural de la madera de Sequoia sempervirens (D. Don) Endl. Frente al ataque de Hongos Xilófagos. Tesis de Ingeniería Forestal. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 39 p.

## 9 APÉNDICES

## 9.1 HISTOGRAMAS DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA POR CLASES DIÁMETRICAS.

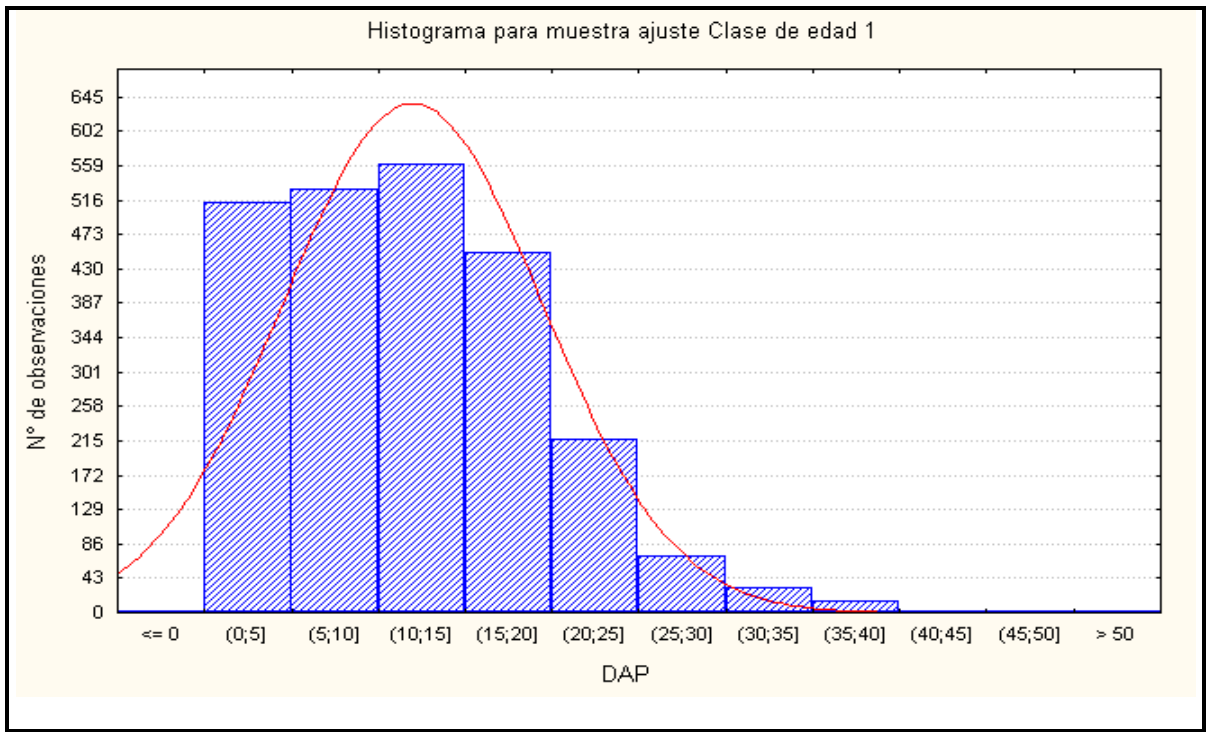


Figura 12. Histograma de la muestra para el ajuste de la clase de edad 1.

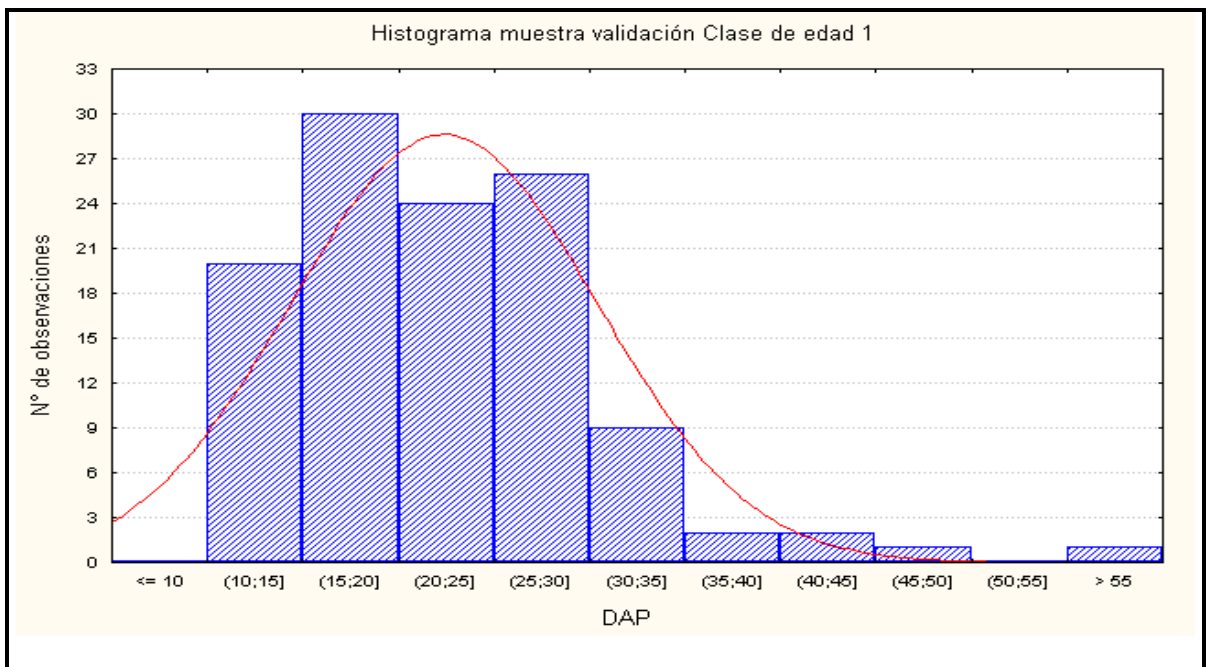


Figura 13. Histograma de la muestra para la validación de la clase de edad 1.

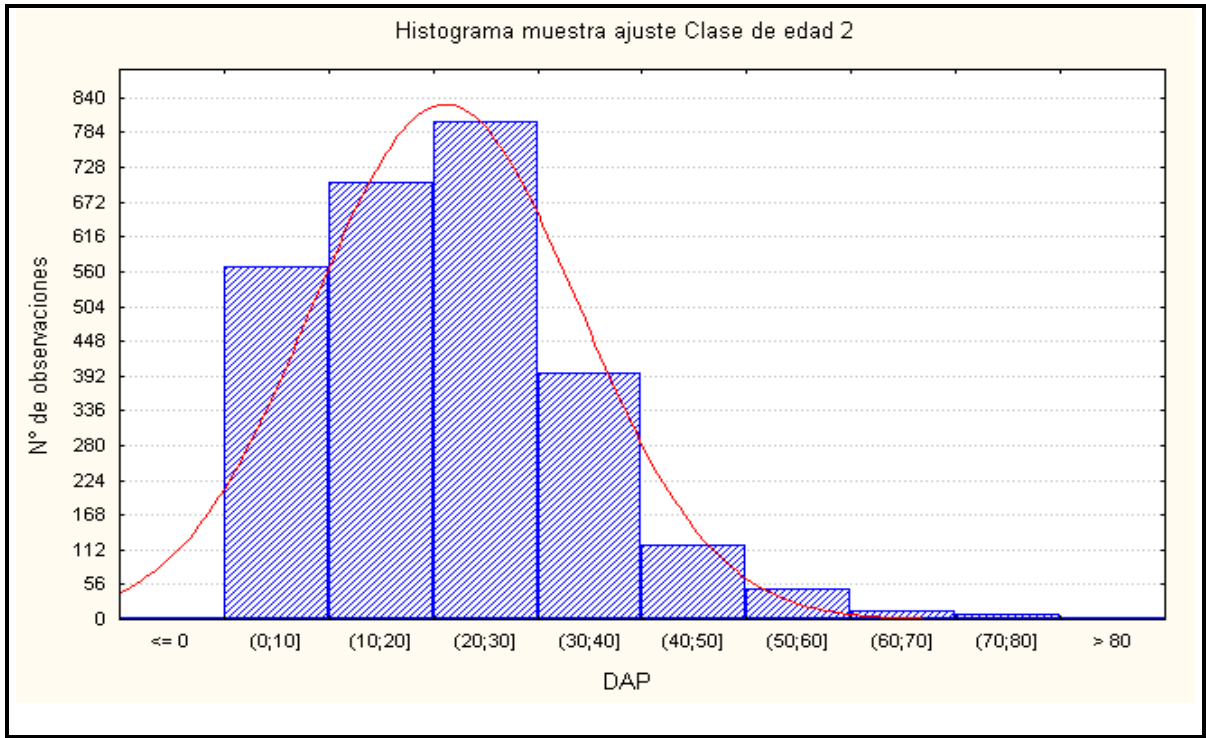


Figura 14. Histograma de la muestra para el ajuste de la clase de edad 2.

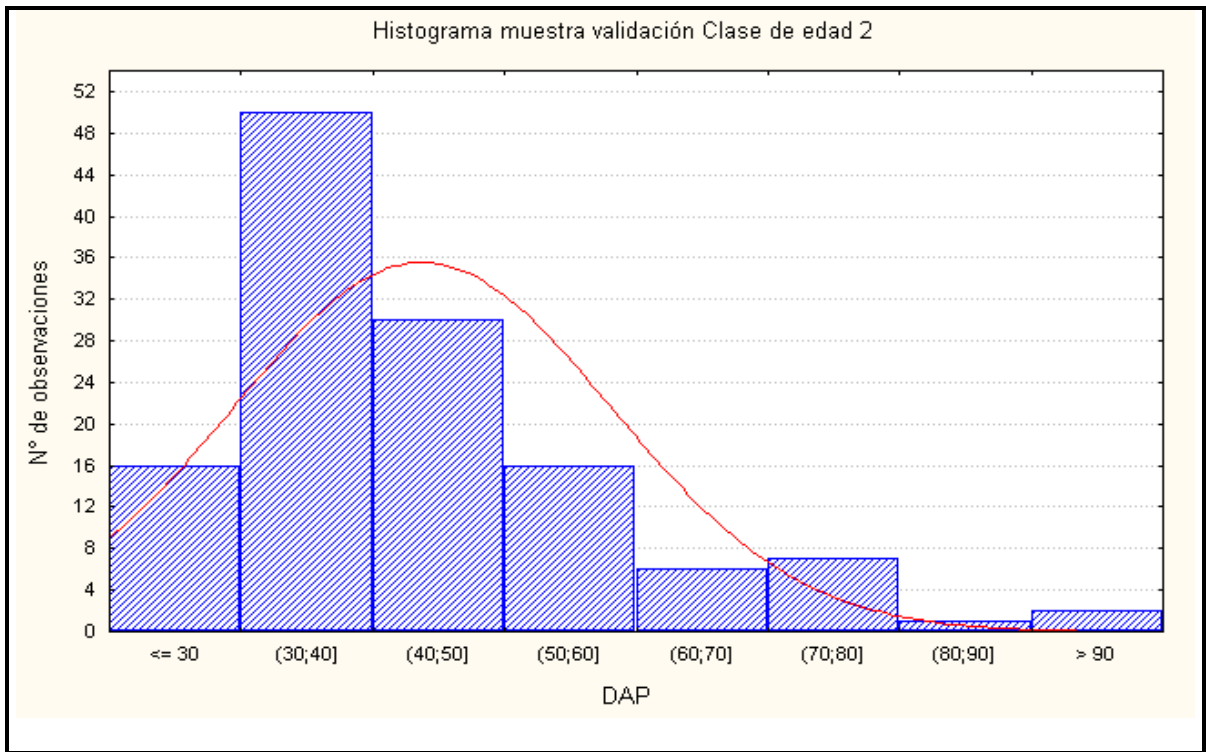


Figura 15. Histograma de la muestra para la validación de la clase de edad 2.

## 9.2 FORMA FUSTAL DE LAS CLASES DE EDAD ANALIZADAS

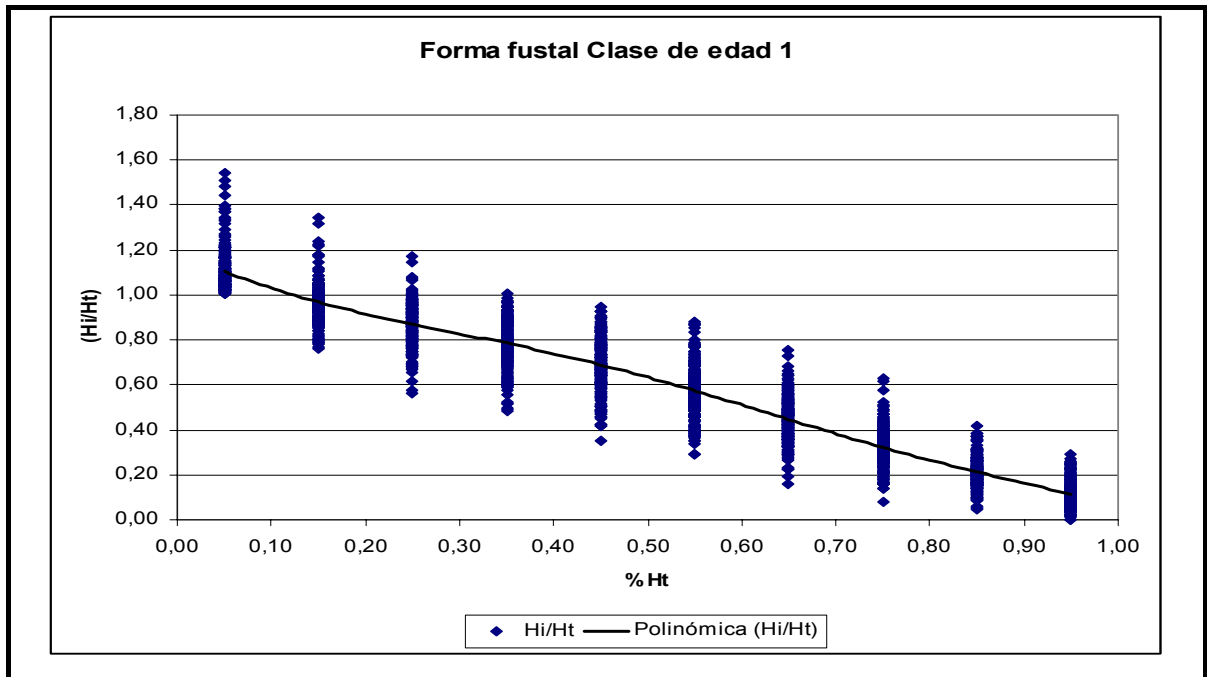


Figura 16. Forma fustal de la Clase de edad 1.

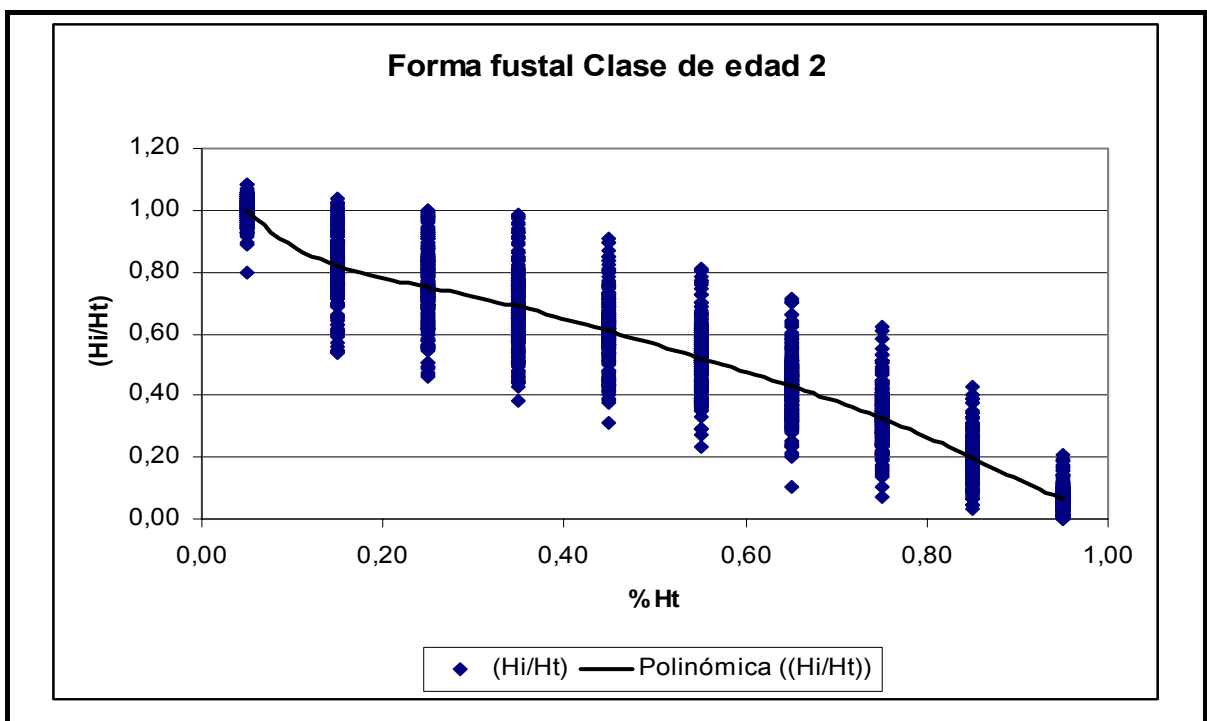


Figura 17. Forma fustal de la Clase de edad 2.

### 9.3 TEST DE “DIFERENCIAS DE MEDIAS”.

Tabla 32. Estadísticos de Clase de Edad 1.

	ARBOL	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DAP	>= 240 (Validación)	115	22,38	8,013	,747
	< 240 (Ajuste)	239	22,27	7,582	,490

Tabla 33. Prueba de muestras independientes de la Clase de Edad 1.

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
DAP	Se han asumido varianzas iguales	,637	,425	,123	352	,902	,11	,877	-1,616	1,832
	No se han asumido varianzas iguales			,121	214	,904	,11	,894	-1,654	1,870

No se rechaza Ho.

Tabla 34. Estadísticos de Clase de Edad 2.

	ARBOL2	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DAP2	>= 267 (Validación)	128	43,74	14,360	1,269
	< 267 (Ajuste)	266	44,58	14,042	,861

Tabla 35. Prueba de muestras independientes de la Clase de Edad 2.

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
DAP2	Se han asumido varianzas iguales	,013	,909	-,551	392	,582	-,84	1,522	-3,830	2,153
	No se han asumido varianzas iguales			-,547	246	,585	-,84	1,534	-3,859	2,182

No se rechaza Ho.



## 9.4 MANUAL DE USUARIO PARA SEQUTROZ 1.0

Para poder ejecutar el simulador SEQUTROZ 1.0, se debe encontrar y seleccionar el icono perteneciente al programa, éste se presenta en la Figura 18.



Figura 18. Icono del simulador de trozado SEQUTROZ 1.0.

### 9.4.1 INGRESO A SEQUTROZ 1.0

Después de ejecutar el simulador (SEQUTROZ 1.0.exe), lo primero que aparecerá en la pantalla es la ventana de presentación del simulador, en la cual se realiza una explicación breve de la funcionalidad del simulador y el nombre de su autor, en la Figura 19 se presenta la apariencia de esta ventana.

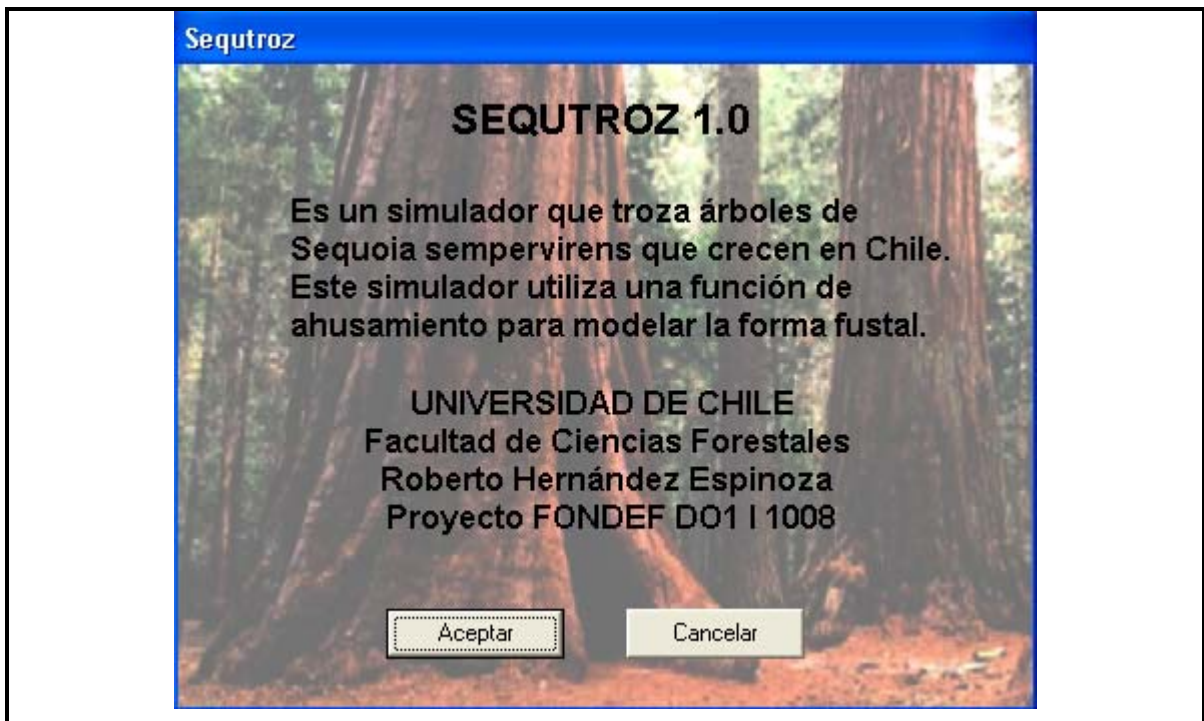


Figura 19. Ventana de presentación del simulador SEQUTROZ 1.0

En esta ventana se tiene dos opciones, la primera es aceptar y proceder a la simulación del proceso de trozado, para lo cual se debe ingresar alguna información previa. La segunda opción es cancelar el ingreso a SEQUTROZ 1.0, como resultado de esto, se desplegaría una ventana de consulta.

En esta ventana aparecen como opción, Sí y No, con la primera opción se saldría de SEQUTROZ 1.0, y con la segunda se regresaría a la ventana de presentación del simulador.

La apariencia de esta ventana de salida sería como lo muestra la Figura 20.

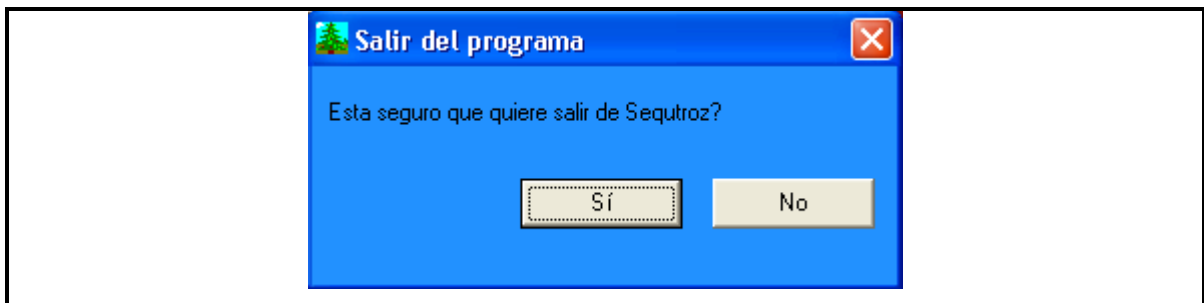


Figura 20. Ventana de salida de SEQUTROZ 1.0.

#### 9.4.2 INGRESAR EL ESQUEMA DE TROZADO

Después de ver la ventana de presentación del simulador, se procede a ingresar las características de los productos a obtener, SEQUTROZ 1.0, entrega por defecto los valores y dimensiones de los productos utilizados en esta memoria, la ventana que vería el usuario sería la que se muestra en la Figura 21.

El ingreso de esta información es de la siguiente manera, la unidad de la variable Precio de los tres productos considerados, es en pesos por metro cúbico ( $\$/m^3$ ), la variable que corresponde al Largo de los productos se debe ingresar en metros (m) y por último la variable D. Mínimo es requisito que sea ingresada en centímetros (cm). Si por ejemplo, esto no ocurriera así con la variable D. Mínimo y fuera ingresada en metros, el número de trozas por tipo de producto se vería afectada negativamente.

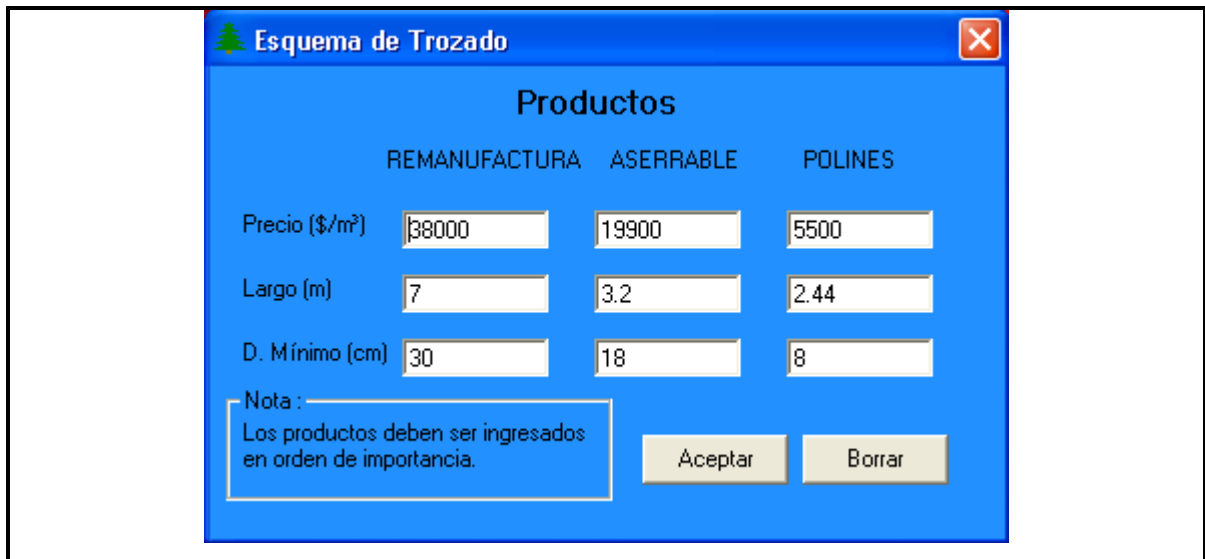


Figura 21. Esquema de trozado que entrega por defecto SEQUTROZ 1.0.

Por otra parte, si se desea analizar el trozado con otro tipo de producto, que tenga otras características, se puede hacer clic en el botón Borrar y el cursor queda en la posición de la casilla Precio del producto Remanufactura. Esto se puede apreciar en la Figura 22.

En ambas ventanas, después de realizar clic en el botón Borrar, se procede a digitar las características de los productos incluidos en el esquema de trozado.

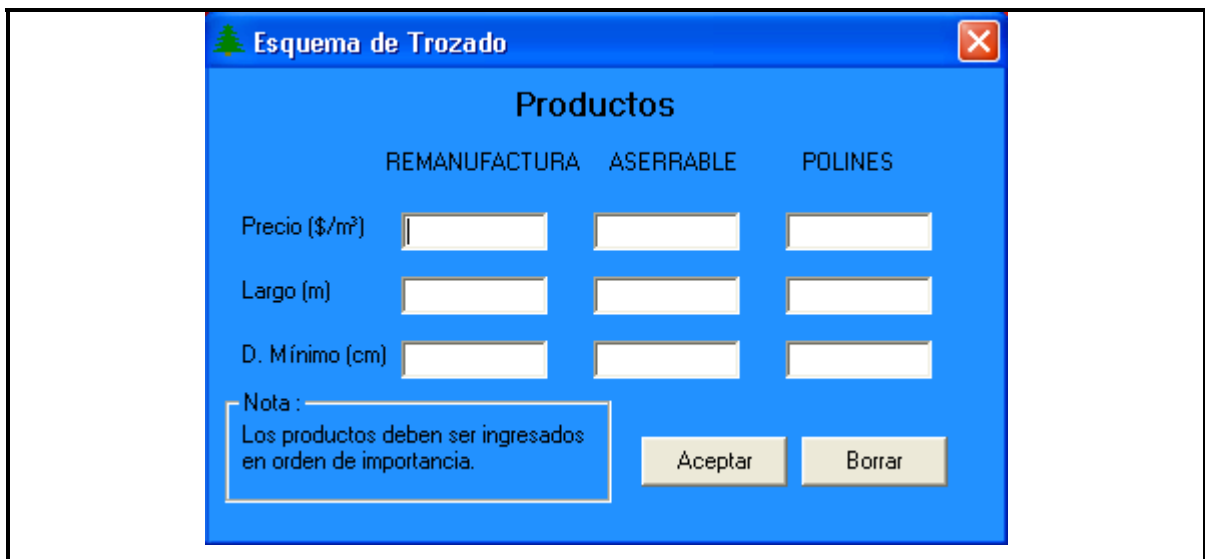


Figura 22. Esquema de trozado para productos con otras características.

### 9.4.3 SELECCIÓN DE ETAPA DE CRECIMIENTO

Después de seleccionar las características de los productos a trozar, el usuario también debe realizar la selección de la etapa de crecimiento a la cual pertenece el árbol que será trozado. Para esto, tiene dos opciones que se han mencionado anteriormente, la primera incluye a los árboles que se encuentran entre 1 y 20 años, y la segunda incluye a todos los árboles que son mayores a 20 años de edad.

Para realizar esta selección, aparecerá una ventana en donde existen dos opciones, si se elige la primera, en el proceso de trozado se utilizará una función adecuada a esta etapa de crecimiento, para la estimación de diámetros como de volúmenes.

Cabe señalar que de los modelos fustales anteriormente analizados, el que mejor fue evaluado en ambas etapas de crecimiento fue el Modelo de Bruce.

Si por algún motivo el usuario deseara cambiar alguna característica de algún producto del esquema de trozado a utilizar, solo debe hacer clic en el botón Atrás para volver a la ventana de digitalización del esquema de trozado.

La ventana con estas opciones es como muestra la Figura 23, que se presenta a continuación.

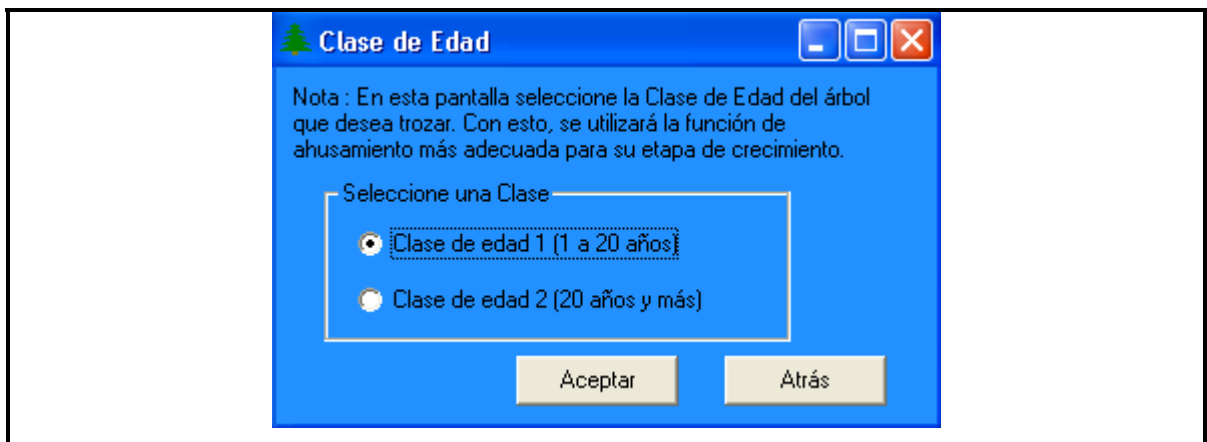


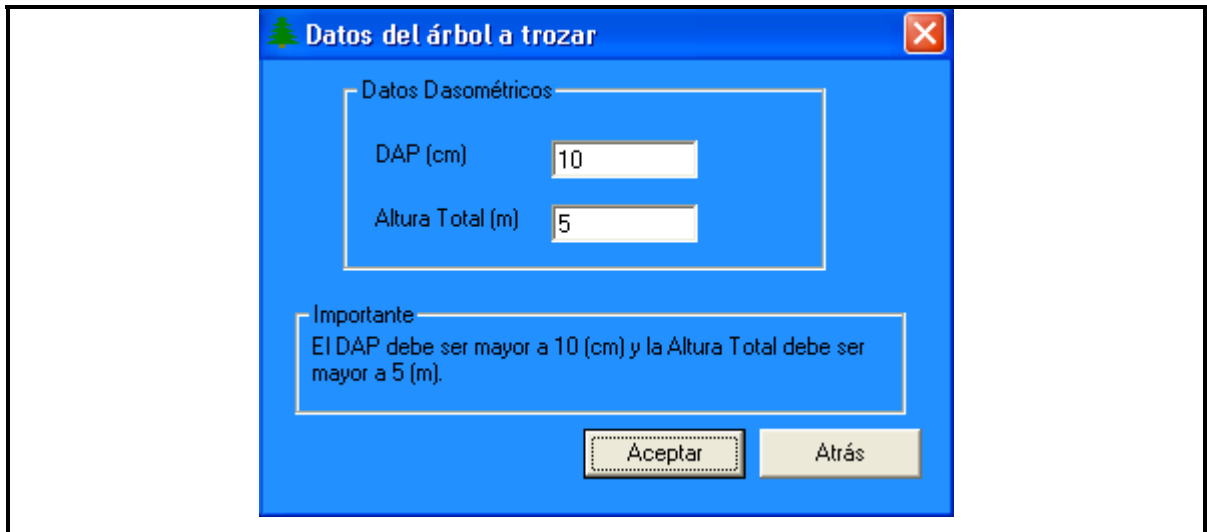
Figura 23. Selección de etapa de crecimiento.

### 9.4.4 INGRESO DE INFORMACIÓN DASOMÉTRICA DEL ÁRBOL A TROZAR

Para dar comienzo al proceso de simulación del trozado de un árbol de Secoya, primeramente se deben ingresar las dos variables dasométricas que mejor identifican a un árbol, como lo son el DAP y la Altura Total (HT), después de ingresar estas dos variables el usuario esta listo para simular el trozado del árbol seleccionado.

Para simular el trozado, se debe hacer clic en el botón Aceptar, si de lo contrario se desea cambiar la etapa de crecimiento a la cual pertenece el árbol, se debe hacer clic en el botón Atrás, para volver a la ventana de selección de etapa de crecimiento.

La ventana en donde se puede ingresar esta información es como lo muestra la Figura 24.



The image shows a software dialog box titled "Datos del árbol a trozar" (Tree data to be cut). The dialog is blue and contains the following elements:

- Datos Dasométricos** (Diameter and Height Data):
  - DAP (cm): 10
  - Altura Total (m): 5
- Importante** (Important): El DAP debe ser mayor a 10 (cm) y la Altura Total debe ser mayor a 5 (m).
- Buttons: "Aceptar" (Accept) and "Atrás" (Back).

Figura 24. Ingreso de Datos dasométricos del árbol a trozar.

Es necesario que el DAP sea ingresado en centímetros (cm) y la Altura Total (HT) en metros (m), esta última puede ser ingresada a lo más con dos decimales.

Una vez, ingresada toda la información señalada anteriormente SEQUTROZ 1.0, esta listo para la simulación del proceso de trozado.

#### 9.4.5 PROCESO DE TROZADO

Ya se ha ingresado toda la información requerida para simular el trozado del árbol seleccionado.

Como producto de esto, el simulador muestra una ventana resumen del trozado, en esta se señalan el total de trozas por tipo de producto, el volumen total de cada uno de ellos, el volumen total del árbol trozado, el volumen realmente utilizado del árbol (este volumen es idéntico a la sumatoria de los volúmenes de los productos obtenidos en el trozado del árbol), el rendimiento y el ingreso que se obtendría por la venta de todas las trozas de cada uno de los productos.

La apariencia de esta venta resumen es como se muestra en la Figura 25.

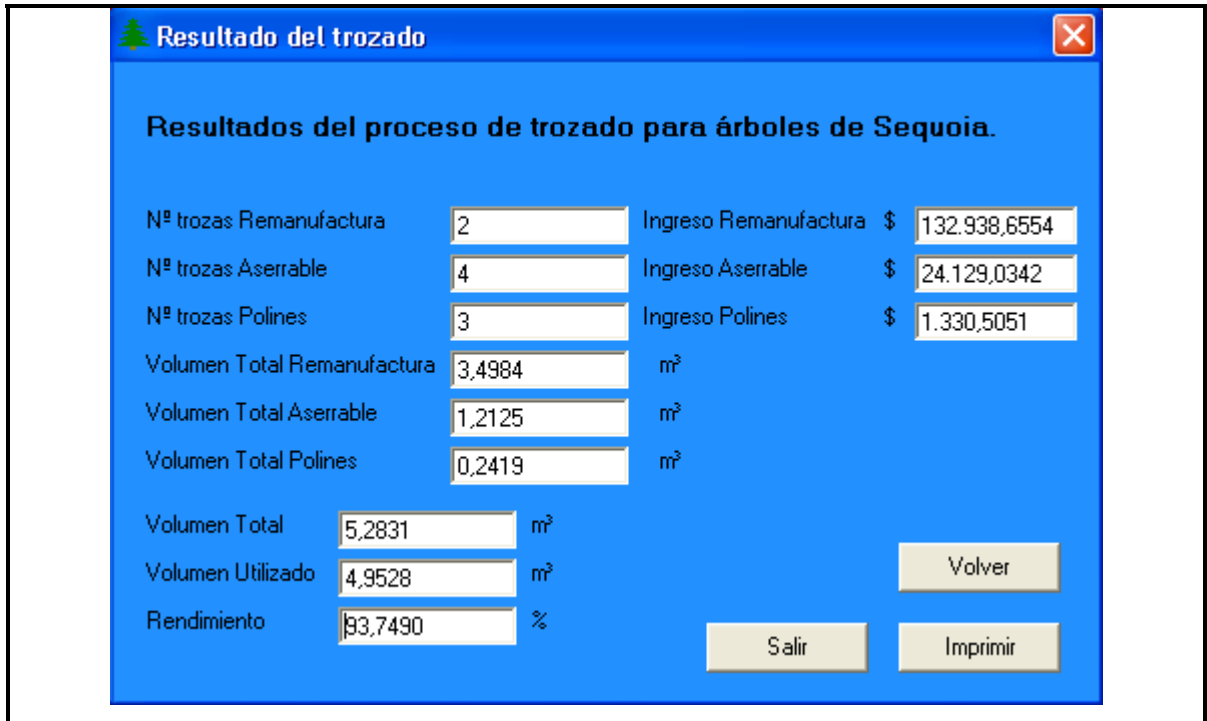


Figura 25. Ventana resumen del proceso de simulación del trozado.

En esta ventana se pueden realizar diversas acciones, como por ejemplo, si se hace clic en el botón Salir, lo que sucede es que aparece una ventana de mensaje, preguntando si estamos seguros de salir de SEQUTROZ 1.0, esta ventana tiene la apariencia como muestra la Figura 26.

En esta ventana aparecen como opción, Sí y No, con la primera opción se saldría de SEQUTROZ 1.0, y con la segunda se regresaría a la ventana de Resultados de la simulación.

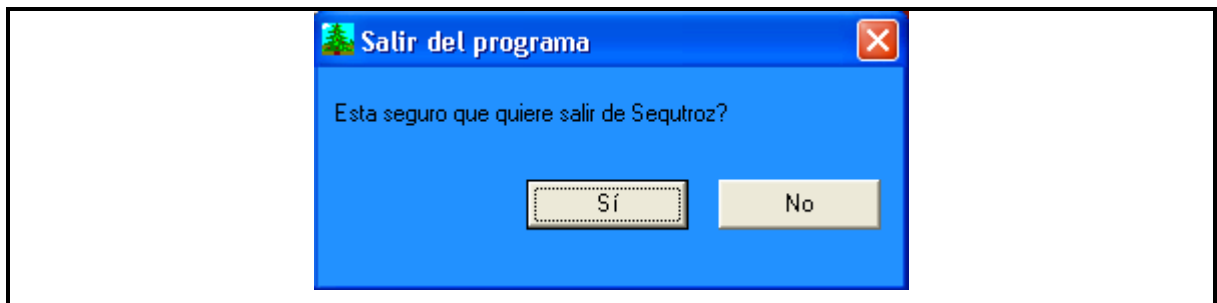


Figura 26. Ventana de salida de SEQUTROZ 1.0.

Si el usuario hiciera clic en el botón Imprimir, se procedería a la impresión de esta ventana sin incluir los botones Salir, Imprimir y Volver.

Si se hiciera clic en el botón Volver, se regresaría a la ventana de ingreso del esquema de trozado, para poder realizar la simulación del trozado de un nuevo árbol.

## 9.5 CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ASOCIADO AL SIMULADOR DE TROZADO SEQUTROZ 1.0

El simulador de trozado SEQUTROZ 1.0, fue construido considerando como lenguaje de programación Visual Basic® 6.0. para facilitar el manejo del software se construyó utilizando formularios para el ingreso de información y para desplegar los resultados.

Por esta razón SEQUTROZ 1.0, está conformado por 8 formularios y un Módulo de variables, éste último agrupa todas las variables de entrada, proceso y de salida que utiliza el simulador.

A continuación se presenta el código asociado a cada uno de los formularios construidos. Cada formulario tiene la extensión \*.FRM, que los identifica, en cambio el módulo de variables tiene extensión \*.BAS.

### 9.5.1 SEQUTROZ.FRM

```
Option Explicit
Private Sub Aceptar1_Click(Index As Integer)
    Esquema.Show
    Unload Sequtroz
End Sub
Private Sub Cancelar1_Click(Index As Integer)
    Salir.Show
End Sub
Private Sub Form_Load()
End Sub
```

### 9.5.2 SALIR.FRM

```
Option Explicit
Private Sub CancelButton_Click()
    Sequtroz.Show
    Unload Salir
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Unload Sequtroz
End Sub
Private Sub OKButton_Click()
    End
End Sub
```

### 9.5.3 ESQUEMA.FRM

```
Option Explicit
Private Sub Aceptar2_Click(Index As Integer)
    Edad.Show
End Sub
Private Sub Borrar_Click(Index As Integer)
    Esquema.preciop1.Text = Empty
    Esquema.preciop2.Text = Empty
    Esquema.preciop3.Text = Empty
    Esquema.largop1.Text = Empty
    Esquema.largop2.Text = Empty
```



```

Esquema.largop3.Text = Empty
Esquema.diamp1.Text = Empty
Esquema.diamp2.Text = Empty
Esquema.diamp3.Text = Empty
preciop1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Sequetroz.Hide
    Esquema.preciop1.Text = "38000"
    Esquema.preciop2.Text = "19900"
    Esquema.preciop3.Text = "5500"
    Esquema.largop1.Text = "7"
    Esquema.largop2.Text = "3.2"
    Esquema.largop3.Text = "2.44"
    Esquema.diamp1.Text = "30"
    Esquema.diamp2.Text = "18"
    Esquema.diamp3.Text = "8"
End Sub
Private Sub Label4_Click(Index As Integer)
End Sub

```

#### 9.5.4 EDAD.FRM

```

Private Sub Aceptar3_Click(Index As Integer)
    Datos.Show
End Sub
Private Sub Cancelar3_Click(Index As Integer)
    Esquema.Show
    Unload Edad
    'Edad.Hide
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Esquema.Hide
End Sub

```

#### 9.5.5 DATOS.FRM

```

Option Explicit
Private Sub Aceptar4_Click()
If Edad.Option1.Value = True Then
    hi = 0.2
    trozasp1 = 0
    trozasp2 = 0
    trozasp3 = 0
    vol1 = 0
    vol2 = 0
    vol3 = 0
    tvolp1 = 0
    tvolp2 = 0
    tvolp3 = 0
    x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
    di = Sqr((0.827935746 * x ^ (3 / 2) - 0.032222119 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.046792935 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) + 0.000000364909 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) - 0.0000153873 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000000469583 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2 * Val(dap.Text) ^ 2)
    Do While di >= Val(Esquema.diamp1.Text)
        hi = hi + Val(Esquema.largop1.Text)
        x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        di = Sqr((0.827935746 * x ^ (3 / 2) - 0.032222119 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.046792935 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) + 0.000000364909 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) - 0.0000153873 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000000469583 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2 * Val(dap.Text) ^ 2)
    If di >= Val(Esquema.diamp1.Text) Then
        x2 = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        x1 = ((Val(ht.Text) - (hi - Val(Esquema.largop1.Text))) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
        x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
        x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
        x6 = ((x1 ^ 4) / 4)

```

```

x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
x9 = ((x2 ^ 41) / 41)
x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
vol1 = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.827935746 * (x3 - x4) - (0.032222119 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.046792935 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.000000364909 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) - (0.0000153873 * (Val(ht.Text)) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.0000000469583 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
End If
trozasp1 = trozasp1 + 1
tvolp1 = tvolp1 + vol1
hi = hi + Val(Esquema.largop1.Text)
If trozasp1 >= 1 Then
totalp1 = trozasp1 - 1
hi = hi - Val(Esquema.largop1.Text)
End If
Loop
Do While di >= Val(Val(Esquema.diamp2.Text))
hi = hi + Val(Esquema.largop2.Text)
x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
di = Sqr((0.827935746 * x ^ (3 / 2) - 0.032222119 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.046792935 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) + 0.000000364909 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) - 0.0000153873 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000000469583 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)
If di >= Val(Esquema.diamp2.Text) Then
x2 = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x1 = ((Val(ht.Text) - (hi - Val(Esquema.largop2.Text))) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
x6 = ((x1 ^ 4) / 4)
x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
x9 = ((x2 ^ 41) / 41)
x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
vol2 = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.827935746 * (x3 - x4) - (0.032222119 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.046792935 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.000000364909 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) - (0.0000153873 * (Val(ht.Text)) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.0000000469583 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
End If
trozasp2 = trozasp2 + 1
tvolp2 = tvolp2 + vol2
hi = hi + Val(Esquema.largop2.Text)
If trozasp2 >= 1 Then
totalp2 = trozasp2 - 1
hi = hi - Val(Esquema.largop2.Text)
End If
Loop
If totalp1 = 0 And totalp2 = 0 Then
hi = 0.2
End If
If totalp1 >= 1 Then
hi = hi - Val(Esquema.largop2.Text)
End If
Do While di >= Val(Esquema.diamp3.Text)
hi = hi + Val(Esquema.largop3.Text)
x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
di = Sqr((0.827935746 * x ^ (3 / 2) - 0.032222119 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.046792935 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) + 0.000000364909 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) - 0.0000153873 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000000469583 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)
If di >= Val(Esquema.diamp3.Text) Then
x2 = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x1 = ((Val(ht.Text) - (hi - Val(Esquema.largop3.Text))) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
x6 = ((x1 ^ 4) / 4)
x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
x9 = ((x2 ^ 41) / 41)

```

```

        x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
        vol3 = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.827935746 * (x3 - x4) - (0.032222119 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.046792935 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.000000364909 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) - (0.0000153873 * (Val(ht.Text)) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.0000000469583 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
    End If
    trozasp3 = trozasp3 + 1
    tvolp3 = tvolp3 + vol3
    hi = hi + Val(Esquema.largop3.Text)
    If trozasp3 >= 1 Then
        totalp3 = trozasp3 - 1
        hi = hi - Val(Esquema.largop3.Text)
    End If
Loop
hi = hi - Val(Esquema.largop3.Text)
x1 = ((Val(ht.Text) - 0 * Val(ht.Text)) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x2 = ((Val(ht.Text) - 0.2) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
x6 = ((x1 ^ 4) / 4)
x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
x9 = ((x2 ^ 41) / 41)
x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
voltocon = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.827935746 * (x3 - x4) - (0.032222119 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.046792935 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.000000364909 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) - (0.0000153873 * (Val(ht.Text)) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.0000000469583 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
x1 = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x2 = ((Val(ht.Text) - Val(ht.Text)) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
x6 = ((x1 ^ 4) / 4)
x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
x9 = ((x2 ^ 41) / 41)
x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
voldesecho = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.827935746 * (x3 - x4) - (0.032222119 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.046792935 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.000000364909 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) - (0.0000153873 * (Val(ht.Text)) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.0000000469583 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
volutil = CSng(tvolp1) + CSng(tvolp2) + CSng(tvolp3)
voltotal = CSng(volutil) + CSng(voltocon) + CSng(voldesecho)
trend = (CSng(volutil) / CSng(voltotal)) * 100
ttrazasp1 = Val(totalp1)
Resultados.ttrazasp1.Text = ttrazasp1
ttrazasp2 = Val(totalp2)
Resultados.ttrazasp2.Text = ttrazasp2
ttrazasp3 = Val(totalp3)
Resultados.ttrazasp3.Text = ttrazasp3
tvolp1 = CSng(tvolp1)
Resultados.tvolp1.Text = tvolp1
Resultados.tvolp1.Text = Format(Resultados.tvolp1.Text, "0.0000")
tvolp2 = CSng(tvolp2)
Resultados.tvolp2.Text = tvolp2
Resultados.tvolp2.Text = Format(Resultados.tvolp2.Text, "0.0000")
tvolp3 = CSng(tvolp3)
Resultados.tvolp3.Text = tvolp3
Resultados.tvolp3.Text = Format(Resultados.tvolp3.Text, "0.0000")
trend = CSng(trend)
Resultados.trend.Text = trend
Resultados.trend.Text = Format(Resultados.trend.Text, "0.0000")
ingp1 = tvolp1 * Val(Esquema.preciop1.Text)
Resultados.ingp1.Text = ingp1
Resultados.ingp1.Text = Format(Resultados.ingp1.Text, "###,#####0.00###")
ingp2 = tvolp2 * Val(Esquema.preciop2.Text)
Resultados.ingp2.Text = ingp2

```

```

Resultados.ingp2.Text = Format(Resultados.ingp2.Text, "##,#####0.00##")
ingp3 = tvolp3 * Val(Esquema.preciop3.Text)
Resultados.ingp3.Text = ingp3
Resultados.ingp3.Text = Format(Resultados.ingp3.Text, "##,#####0.00##")
volttotal = CSng(volttotal)
Resultados.volttotal.Text = volttotal
Resultados.volttotal.Text = Format(Resultados.volttotal.Text, "0.0000")
volutil = CSng(volutil)
Resultados.volutil.Text = volutil
Resultados.volutil.Text = Format(Resultados.volutil.Text, "0.0000")
End If
If Edad.Option2.Value = True Then
    hi = 0.3
    trozasp1 = 0
    trozasp2 = 0
    trozasp3 = 0
    vol1 = 0
    vol2 = 0
    vol3 = 0
    tvolp1 = 0
    tvolp2 = 0
    tvolp3 = 0
    x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
    di = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)
    Do While di >= Val(Esquema.diamp1.Text)
        hi = hi + Val(Esquema.largop1.Text)
        x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        di = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)
    If di >= Val(Esquema.diamp1.Text) Then
        x2 = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        x1 = ((Val(ht.Text) - (hi - Val(Esquema.largop1.Text))) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
        x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
        x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
        x6 = ((x1 ^ 4) / 4)
        x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
        x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
        x9 = ((x2 ^ 41) / 41)
        x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
        vol1 = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.799519003 * (x3 - x4) - (0.001503871 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.004935472 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) - (0.000207418 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.015133955 * (Val(ht.Text)) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.0000249183 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
    End If
    trozasp1 = trozasp1 + 1
    tvolp1 = tvolp1 + vol1
    hi = hi + Val(Esquema.largop1.Text)
    If trozasp1 >= 1 Then
        totalp1 = trozasp1 - 1
        hi = hi - Val(Esquema.largop1.Text)
    End If
    Loop
    If trozasp1 >= 1 Then
        hi = hi - Val(Esquema.largop1.Text)
    End If
    x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
    di = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)
    Do While di >= Val(Esquema.diamp2.Text)
        hi = hi + Val(Esquema.largop2.Text)
        x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        di = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)

```

```

If di >= Val(Esquema.diamp2.Text) Then
    x2 = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
    x1 = ((Val(ht.Text) - (hi - Val(Esquema.largop2.Text))) / (Val(ht.Text) - 1.3))
    x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
    x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
    x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
    x6 = ((x1 ^ 4) / 4)
    x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
    x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
    x9 = ((x2 ^ 41) / 41)
    x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
    vol2 = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.799519003 * (x3 - x4) - (0.001503871 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.004935472 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) - (0.000207418 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.015133955 * (Val(ht.Text)) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.0000249183 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
    End If
    trozasp2 = trozasp2 + 1
    tvolp2 = tvolp2 + vol2
    hi = hi + Val(Esquema.largop2.Text)
    If trozasp2 >= 1 Then
        totalp2 = trozasp2 - 1
        hi = hi - Val(Esquema.largop2.Text)
    End If
    Loop
    hi = hi - Val(Esquema.largop2.Text)
    x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
    di = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2 * Val(dap.Text) ^ 2)
    Do While di >= Val(Esquema.diamp3.Text)
        hi = hi + Val(Esquema.largop3.Text)
        x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        di = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2 * Val(dap.Text) ^ 2)
        If di >= Val(Esquema.diamp3.Text) Then
            x2 = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
            x1 = ((Val(ht.Text) - (hi - Val(Esquema.largop3.Text))) / (Val(ht.Text) - 1.3))
            x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
            x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
            x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
            x6 = ((x1 ^ 4) / 4)
            x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
            x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
            x9 = ((x2 ^ 41) / 41)
            x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
            vol3 = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.799519003 * (x3 - x4) - (0.001503871 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.004935472 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) - (0.000207418 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.015133955 * (Val(ht.Text)) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.0000249183 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
            End If
            trozasp3 = trozasp3 + 1
            tvolp3 = tvolp3 + vol3
            hi = hi + Val(Esquema.largop3.Text)
            If trozasp3 >= 1 Then
                totalp3 = trozasp3 - 1
                hi = hi - Val(Esquema.largop3.Text)
            End If
            Loop
            hi = hi - Val(Esquema.largop3.Text)
        'volumen del tocon
        hsuelo = 0.3
        x = ((Val(ht.Text) - hsuelo) / (Val(ht.Text) - 1.3))
        ds = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2 * Val(dap.Text) ^ 2)
        htocon = 0.3
        x = ((Val(ht.Text) - htocon) / (Val(ht.Text) - 1.3))

```

```

dt = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)
voltocon = 0.3 * (3.14159 / 4) * (((ds / 100) ^ 2 + (dt / 100) ^ 2) / 2)
'volumen de desecho
x = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
dhi = Sqr((0.799519003 * x ^ (3 / 2) - 0.001503871 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(dap.Text) + 0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)
0.004935472 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 3) * Val(ht.Text) - 0.000207418 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) * Val(dap.Text) + 0.015133955 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 32) * Val(ht.Text) ^ (1 / 2) + 0.0000249183 * (x ^ (3 / 2) - x ^ 40) * Val(ht.Text) ^ 2) * Val(dap.Text) ^ 2)
'voldesecho = (Val(ht.Text) - hi) * (3.14159 / 4) * (((ds / 100) ^ 2 + (dt / 100) ^ 2) / 2)
x1 = ((Val(ht.Text) - hi) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x2 = ((Val(ht.Text) - Val(ht.Text)) / (Val(ht.Text) - 1.3))
x3 = (x2 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x4 = (x1 ^ (5 / 2)) / (2 / 5)
x5 = ((x2 ^ 4) / 4)
x6 = ((x1 ^ 4) / 4)
x7 = ((x2 ^ 33) / 33)
x8 = ((x1 ^ 33) / 33)
x9 = ((x2 ^ 41) / 41)
x10 = ((x1 ^ 41) / 41)
voldesecho = ((-1) * (3.14159 / 4) * ((Val(dap.Text) / 100) ^ 2)) * (0.827935746 * (x3 - x4) - (0.032222119 * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.046792935 * Val(ht.Text)) * ((x3 - x4) - (x5 - x6)) + (0.000000364909 * Val(ht.Text) * (Val(dap.Text) / 100)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) - (0.0000153873 * (Val(ht.Text) ^ (1 / 2)) * ((x3 - x4) - (x7 - x8)) + (0.000000469583 * (Val(ht.Text) ^ 2)) * ((x3 - x4) - (x9 - x10)))
volutil = CSng(tvulp1) + CSng(tvulp2) + CSng(tvulp3)
voltotal = CSng(volutil) + CSng(voltocon) + CSng(voldesecho)
trend = (CSng(volutil) / CSng(voltotal)) * 100
trozasp1 = Val(totalp1)
Resultados.trozasp1.Text = trozasp1
trozasp2 = Val(totalp2)
Resultados.trozasp2.Text = trozasp2
trozasp3 = Val(totalp3)
Resultados.trozasp3.Text = trozasp3
tvulp1 = CSng(tvulp1)
Resultados.tvulp1.Text = tvulp1
Resultados.tvulp1.Text = Format(Resultados.tvulp1.Text, "0.0000")
tvulp2 = CSng(tvulp2)
Resultados.tvulp2.Text = tvulp2
Resultados.tvulp2.Text = Format(Resultados.tvulp2.Text, "0.0000")
tvulp3 = CSng(tvulp3)
Resultados.tvulp3.Text = tvulp3
Resultados.tvulp3.Text = Format(Resultados.tvulp3.Text, "0.0000")
trend = CSng(trend)
Resultados.trend.Text = trend
Resultados.trend.Text = Format(Resultados.trend.Text, "0.0000")
ingp1 = tvulp1 * Val(Eschema.preciop1.Text)
Resultados.ingp1.Text = ingp1
Resultados.ingp1.Text = Format(Resultados.ingp1.Text, "##,#####0.00##")
ingp2 = tvulp2 * Val(Eschema.preciop2.Text)
Resultados.ingp2.Text = ingp2
Resultados.ingp2.Text = Format(Resultados.ingp2.Text, "##,#####0.00##")
ingp3 = tvulp3 * Val(Eschema.preciop3.Text)
Resultados.ingp3.Text = ingp3
Resultados.ingp3.Text = Format(Resultados.ingp3.Text, "##,#####0.00##")
volttotal = CSng(volttotal)
Resultados.volttotal.Text = volttotal
Resultados.volttotal.Text = Format(Resultados.volttotal.Text, "0.0000")
volutil = CSng(volutil)
Resultados.volutil.Text = volutil
Resultados.volutil.Text = Format(Resultados.volutil.Text, "0.0000")
End If
Resultados.Show
End Sub
Private Sub Cancelar4_Click()
Edad.Show
Unload Datos

```

```

End Sub
Private Sub Form_Load()
    Edad.Hide
    Datos.dap.Text = "10"
    Datos.ht.Text = "5"
End Sub

```

### 9.5.6 RESULTADOS.FRM

```

Private Sub Form_Load()
    Datos.Hide
End Sub
Private Sub Imprimir_Click()
    Salir(1).Visible = False
    Imprimir.Visible = False
    Volver.Visible = False
    PrintForm
    Salir(1).Visible = True
    Imprimir.Visible = True
    Volver.Visible = True
End Sub
Private Sub Salir_Click(Index As Integer)
    Salir2.Show
End Sub
Private Sub Volver_Click()
    Esquema.Show
    Unload Resultados
    Unload Datos
    Unload Edad
End Sub

```

### 9.5.7 SALIR2.FRM

```

Private Sub Form_Load()
    Resultados.Hide
End Sub
Private Sub no_Click()
    Resultados.Show
    Unload Salir2
End Sub
Private Sub si_Click()
    End
End Sub

```

### 9.5.8 VARIABLES.BAS

```

Public preciop1 As Integer
Public preciop2 As Integer
Public preciop3 As Integer
Public largop1 As Integer
Public largop2 As Double
Public largop3 As Double
Public diamp1 As Double
Public diamp2 As Double
Public diamp3 As Double
Public dap As Double
Public ht As Double
Public volttotal As Double
Public volutil As Double
Public trend As Double
Public ttozasp1 As Integer
Public ttozasp2 As Integer
Public ttozasp3 As Integer
Public hi As Double
Public di As Double
Public vol As Double

```

Public tvolp1 As Double  
Public tvolp2 As Double  
Public tvolp3 As Double  
Public ingp1 As Double  
Public ingp2 As Double  
Public ingp3 As Double  
Public Option1 As Boolean  
Public Option2 As Boolean  
Public totalp1 As Integer  
Public totalp2 As Integer  
Public totalp3 As Integer  
Public trozasp1 As Integer  
Public trozasp2 As Integer  
Public trozasp3 As Integer  
Public x1 As Double  
Public x2 As Double  
Public x3 As Double  
Public x4 As Double  
Public x5 As Double  
Public x6 As Double  
Public x7 As Double  
Public x8 As Double  
Public x9 As Double  
Public x10 As Double  
Public vol1 As Double  
Public vol2 As Double  
Public vol3 As Double  
Public x As Double  
Public voltocon As Double  
Public voldesecho As Double  
Public hsuelo As Double  
Public htocon As Double  
Public ds As Single  
Public dt As Single  
Public dhi As Single  
Public dfin As Single



## 10 ANEXOS

## 10.1 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL AJUSTE DEL MODELO DE FRAZER.

### Modelo segmentado o de Frazer (1979).

$$Y = \text{EXP}^{(5)}(p+q \cdot X) \quad \text{si} \quad 0 \leq X \leq \theta$$

$$Y = (r+s \cdot X)^{0.5} \quad \text{si} \quad \theta < X \leq \varepsilon$$

$$Y = t+u \cdot X \quad \text{si} \quad \varepsilon < X \leq 1$$

Donde:

$$X = (H_i / H_t)$$

$$Y = (D_{isc} / DAP_{sc})$$

$\theta, \varepsilon$  : puntos de cambio de la relación funcional<sup>(6)</sup>.

$p, q, r, s, t, u$ : parámetros del modelo.

$D_{isc}$ : Diámetro sin corteza medido en la  $i$ -ésima sección del fuste.

$DAP_{sc}$ : Diámetro sin corteza medido a la altura del pecho.

$H_i$ : Altura en la que se encuentra la  $i$ -ésima sección del fuste.

$H_t$ : Altura total del árbol.

Este modelo debe cumplir con cuatro restricciones:

En los puntos de intersección entre dos funciones consecutivas, la variable dependiente debe asumir el mismo valor.

La pendiente (primera derivada) entre dos funciones consecutivas, evaluada en  $\theta$  y  $\varepsilon$ , debe ser igual, garantizando la continuidad funcional.

Cuando la función sea evaluada en la altura total el diámetro debe ser cero.

---

<sup>(5)</sup>  $\text{EXP}(X)$  = "exponente e" elevado a X

<sup>(6)</sup>  $\theta$  representa el punto donde la forma del fuste cambia de un neiloide a un paraboloides y  $\varepsilon$  el punto de cambio del paraboloides a un conoide.

Cuando la función sea evaluada a 1,3 metros de altura desde el nivel del suelo el diámetro debe ser igual al DAP.

El modelo al estar sujeto a estas 4 restricciones se originan seis ecuaciones, en donde los parámetros “p, q, r, s, t, u” quedan en función de los valores de  $\theta$  y  $\varepsilon$ .

Estas seis ecuaciones son las siguientes:

1.  $\exp(p+q\theta) = \text{raíz}(r+s\theta)$
2.  $\text{raíz}(r+s\varepsilon) = t+u\varepsilon$
3.  $q*\exp(p+q\theta) = s/(2*\text{raíz}(r+s\theta))$
4.  $s/(2*\text{raíz}(r+s\varepsilon)) = u$
5.  $t+u = 0$
6.  $\exp(p+q\alpha) = 1$  si  $\alpha \leq \theta$

Cuando se resuelve este sistema de ecuaciones todos los parámetros quedan en función de  $\alpha$ ,  $\theta$  y  $\varepsilon$ .

Tabla 36. Valor de los parámetros del modelo en función de  $\alpha$ ,  $\theta$  y  $\varepsilon$ .

Parámetro	$\alpha \leq \theta$	$\theta \leq \alpha \leq \varepsilon$	$\alpha \geq \varepsilon$
P	$\alpha/A$	$\text{Ln}(\text{raíz}(A/B))+ \theta/A$	$\text{Ln}(\text{raíz}(AC/E^2))+ \theta/A$
Q	$-1/A$	$-1/A$	$-1/A$
R	$(2-C)/(\exp(2F/A)A)$	$(2-C)/B$	$(2-C)*C/E^2$
S	$-2/(\exp(F/A)A)$	$-2/B$	$-2C/E^2$
T	$1/(\exp(F/A)*\text{raíz}(AC))$	$1/\text{raíz}(BC)$	$1/E$
U	$-t$	$-t$	$-t$

Donde:

$$\begin{aligned}
 A &= 1 + \varepsilon - 2\theta & B &= 1 + \varepsilon - 2\alpha \\
 C &= 1 - \varepsilon & E &= 1 - \alpha \\
 F &= \theta - \alpha
 \end{aligned}$$

Cuando se realiza el reemplazo de los parámetros **p**, **q**, **r**, **s**, **t** y **u** en las relaciones funcionales del modelo de Frazer, las ecuaciones quedan como en la Tabla 37.

Tabla 37. Modelo de Frazer en función de  $\alpha$ ,  $\theta$  y  $\varepsilon$ .

$\alpha \leq \theta$	
$Y = \exp((\alpha - X)/(1 + \varepsilon - 2\theta))$	$0 \leq X \leq \theta$
$Y = \exp((\alpha - \theta)/(1 + \varepsilon - 2\theta)) * \text{raíz}((1 + \varepsilon - 2X)/(1 + \varepsilon - 2\theta))$	$\theta \leq X \leq \varepsilon$
$Y = \exp((\alpha - \theta)/(1 + \varepsilon - 2\theta)) * (1 - X) / \text{raíz}((1 + \varepsilon - 2\theta) * (1 - \varepsilon))$	$\varepsilon \leq X \leq 1$
$\theta \leq \alpha \leq \varepsilon$	
$Y = \exp((\theta - X)/(1 + \varepsilon - 2\theta) * \text{raíz}((1 + \varepsilon - 2\theta)/(1 + \varepsilon - 2\alpha)))$	$0 \leq X \leq \theta$
$Y = \text{raíz}((1 + \varepsilon - 2X)/(1 + \varepsilon - 2\alpha))$	$\theta \leq X \leq \varepsilon$
$Y = (1 - X) / \text{raíz}((1 + \varepsilon - 2\theta) * (1 - \varepsilon))$	$\varepsilon \leq X \leq 1$
$\alpha \geq \varepsilon$	
$Y = \exp((\theta - X)/(1 + \varepsilon - 2\theta) * \text{raíz}((1 + \varepsilon - 2\theta) * (1 - \varepsilon)/(1 - \alpha)^2))$	$0 \leq X \leq \theta$
$Y = \text{raíz}(1 - \varepsilon) * (1 + \varepsilon - 2X) / (1 - \alpha)^2$	$\theta \leq X \leq \varepsilon$
$Y = (1 - X) / (1 - \alpha)$	$\varepsilon \leq X \leq 1$