

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I Ó N

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente

CALCULO DE VOLUMEN DE MADERA DE *Pinus radiata* D. Don

ASISTIDO POR COMPUTADOR



FELIX TORRES JARPA

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

2000

**CALCULO DE VOLUMEN DE MADERA DE *Pinus Radiata* D. Don
ASISTIDO POR COMPUTADOR**

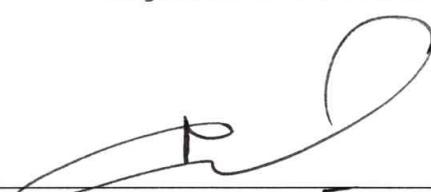
Profesor Asesor



Eduardo Acuña Carmona

Profesor Asistente;
Ingeniero Forestal

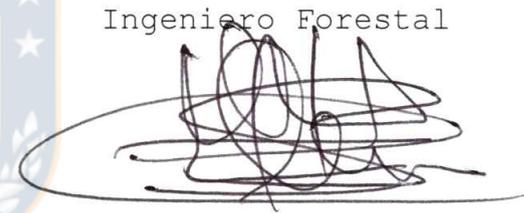
Profesor Asesor



Fernando Drake Aranda

Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal

Director
Departamento Manejo de
Bosques y Medio Ambiente



Manuel Lineros Parra

Profesor Asistente;
Ingeniero Forestal; Mg.

Decano
Facultad de Ciencias
Forestales



Fernando Drake Aranda

Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título:

Eduardo Acuña Carmona: 90 puntos (Noventa puntos)

Fernando Drake Aranda: 90 puntos (Noventa puntos)

"La paciencia es un árbol de raíces amargas, pero de frutos dulces". Esta es una frase de la cual he aprendido mucho y que simboliza una parte de lo que es mi madre. Es a ella, Nivia Jarpa, a quien quiero dedicar esta Tesis y agradecerle por haber sembrado esta semilla y confiado todos los cuidados para que hoy pueda ser un árbol que está listo para mostrar sus frutos y regalarle los más dulces. También a mi padre, Raúl Torres, por mostrarme la vida de una forma simple y humilde; a mis hermanos: Edgardo, Tito y Darwin; y a través de ellos: a mis cuñadas, sobrinas y sobrino, a todos ellos, por su apoyo incondicional.



Para agradecer a todos, los que de alguna u otra forma han marcado mi paso por la Universidad, faltarían las palabras, y de seguro se me va a escapar más de alguno. Pero quiero simbolizar en las siguientes personas a todos ellos. Quiero agradecer, por un sinnúmero de cosas, a Sandra Carrasco y por su intermedio a su familia, especialmente a su mamá (Mery Else). Agradecer por su amistad y apoyo a: Carlos Barrientos, Roldán Ibaca, Marcelo Torres, Carlos Roa, José Mella, Rodrigo Zuñiga, Rigoberto Castro, Francisco Pozo, Rodolfo Maturana, Pedro Elmes, Marcela Araneda y Gonzalo Fuentes, Andrea Fernandez, Jimena Vidal, Arturo Jorquera y Carol Aravena, Michael Arcos y Mónica, a los integrantes y amigos del C.A.A. 1998, a los compañeros de la selección de fútbol de la carrera, a los ex compañeros y funcionarios del Hogar Valentín Letelier, a la Señora Marta Gavilánez (Martita) por su apoyo, consejos y amistad.

A mi compadre Alex Hellmans por una amistad que ha madurado junto a nosotros.

También agradecer a mis tíos, Bety y Roberto, por haberme abierto sus puertas y compartir experiencias y consejos; a mi primo Rodrigo Torres por todos los buenos momentos que hemos pasados; y a través de ellos a todos mis familiares.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS

I	INTRODUCCION.....	9
	1.1 Objetivo general.....	10
	1.2 Objetivos específicos.....	10
	1.3 Lenguaje de programación.....	11
	1.4 Volumen de madera.....	11
	1.4.1 Métodos del cálculo de volumen....	11
	1.4.2 Modelos de Volumen.....	12
	1.4.2.1 Funciones de volumen de árboles individuales.....	13
	1.4.2.2 Funciones de volumen generales.....	14
	1.4.3 Modelos de ahusamiento.....	15
	1.4.3.1 Funciones de ahusamiento de árboles individuales.....	17
	1.4.3.2 Funciones de ahusamiento segmentadas.....	18
	1.4.3.3 Funciones de ahusamiento generales.....	19
II	METODOLOGIA.....	20
	2.1 Materiales.....	20
	2.2 Descripción del Software.....	20
	2.3 Definición de requisitos.....	20
	2.3.1 Requisitos funcionales del software.....	20
	2.3.2 Requisitos operacionales del software.....	21
	2.4 Estructura organizacional del sistema..	22

2.5	Fórmulas y funciones usadas en el software.....	22
2.6	Entrega de resultados.....	22
III	RESULTADOS.....	24
3.1	Variables de entrada.....	24
3.2	Selección de función.....	24
3.3	Variables de cálculo.....	25
3.4	Salida de resultado.....	25
3.5	Características principales del software.....	25
IV	DISCUSION.....	27
V	CONCLUSIONES.....	28
VI	RESUMEN.....	29
VII	SUMMARY.....	30
VIII	BIBLIOGRAFIA.....	31
IX	APENDICE.....	33
9.1	Manual del usuario CAVOLMAD 1.0.....	33
9.2	Acerca de <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	39
X	ANEXOS.....	41



INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
<u>En el anexo</u>		
1 B	Funciones generales de volumen cúbico individual para las provincias de Linares a Malleco.....	41
2 B	Funciones generales de volumen cúbico individual para las provincias de Bío-Bío a Malleco (excluido arenales).....	41
3 B	Funciones generales de volumen cúbico individual para las provincias de Concepción y Arauco.....	41
4 B	Funciones generales de volumen cúbico individual para las provincias de X Región..	42
5 B	Funciones generales de volumen aserrable para las provincias de Linares a Malleco..	42
6 B	Modelos de volumen más usados.....	43
7 B	Algunos modelos de volumen local.....	44
8 B	Algunos modelos de volumen general.....	44
9 B	Modelo de ahusamiento usado en el software..	45
10 B	Modelos de ahusamiento más usados.....	46

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1	Diagrama de la estructura organizacional del sistema.....	23
2	Diagrama general del procedimiento.....	26
<u>En el apéndice</u>		
1 A	Pantalla de bienvenida de CAVOLMAD 1.0.....	33
2 A	Pantalla del menú principal.....	34
3 A	Pantalla de datos generales del predio.....	35
4 A	Pantalla para definir los productos.....	36
5 A	Pantalla para crear Tabla de Rodal.....	37
6 A	Pantalla de número de trozas y volúmenes por productos.....	38
7 A	Pantalla de resumen de los cálculos.....	38

I INTRODUCCION

Desde hace más de una década, la computación se ha hecho indispensable en las empresas forestales como herramienta para el procesamiento y manejo de datos.

Desde entonces se han creado muchos software, apuntados a solucionar problemas en los cuales intervienen un gran número de variables y que requieren de soluciones rápidas y óptimas desde un punto de vista económico y del manejo de los recursos. Entre estos podemos nombrar los que se han creado para las actividades de cosecha (OPTICOR), transporte (ASICAM), predicción de incendios (Quitral); predicción de volúmenes de madera de ***Pinus radiata*** D. Don para un sitio determinado a cualquier edad y determinados manejos (Simulador Radiata), etc.

Hoy en día, el vertiginoso adelanto de la computación hace que esta herramienta esté disponible para el común de la gente y con equipos muy poderosos.

Pero el sector forestal ligado principalmente a los pequeños propietarios y profesionales que ejercen independientemente, carece de software que faciliten y agilicen el cálculo de parámetros que les permitan tomar decisiones en el menor tiempo posible, abaratando costos y permitiéndoles competir en el mercado de una forma más eficiente.

Una forma de responder a esta necesidad es crear programas computacionales que presten un servicio, ya sea:

- Por la venta y actualización periódica de un software; o
- Mediante la participación de un grupo de profesionales y personas ligadas al sector, donde compartan sus conocimientos e información en forma desinteresada (Comunidad virtual); o
- Prestando el servicio de acuerdo a la necesidad del solicitante, por medio de herramientas como la Internet, cobrando por esto una tarifa.

1.1 Objetivo general.

Desarrollar una herramienta que permita simplificar el trabajo de profesionales ligados al sector forestal que trabajan en forma independiente o ligados a pequeños propietarios, recopilando información y haciendo que ésta sea de fácil utilización.

1.2 Objetivos específicos.

Recopilar información acerca de funciones de volumen y ahusamiento para ***Pinus radiata*** de diferentes zonas de nuestro país, para crear una base de datos.

Desarrollar un programa computacional amigable que permita la automatización del cálculo de volumen de madera de ***Pinus radiata*** de diferentes zonas del país.

1.3 Lenguaje de Programación.

El lenguaje de programación que se usará para el desarrollo del software será Visual Basic[®] 5.0 que crea potentes herramientas para Windows[®]. El programa es una programación orientada a eventos con innovadoras herramientas de diseño visual, que permite sacar el máximo provecho del entorno gráfico de Windows (Nelson, 1993).

1.4 Volumen de madera.

Según Caillez (1980), al momento de valorizar un bosque para su venta es imperioso conocer el "volumen de madera" que existe en él, siendo esta la forma más usada para cuantificar la cantidad de madera.

Volumen es la medición del contenido o capacidad de un sólido (Husch et al. 1982). Se expresa en unidades cúbicas que se derivan a partir de unidades de longitud (Valdés et al. 1976).

1.4.1 Métodos del cálculo de volumen. Existen diferentes formas de determinar el volumen de un objeto. El método del xilómetro es el más preciso para determinar el volumen de cualquier objeto de forma irregular, consistiendo en medir el volumen de agua que desplaza dicho objeto (Bruce and Schumacher 1965; Husch et al. 1982); otro es el método de la estimación gráfica de volumen (Valdés et al. 1976; Husch et al. 1982); el uso de fórmulas como las de Samalian, Huber y Newton (Valdés et al. 1976)

1.4.2. Modelos de Volumen. A modo general podemos distinguir entre dos tipos: volumen sólido total, que es volumen del árbol entero; y el volumen aserrable, que es el volumen del árbol hasta un diámetro límite o diámetro comercial.

Para determinar el volumen de un rodal se puede medir directamente cada árbol y sumar estos valores, tarea no recomendable cuando el rodal es de gran tamaño (Caillez, 1980; Husch et al. 1982). Lo habitual es estimar el volumen mediante métodos estadísticos.

Por lo tanto, el mensurador forestal debe estimar la cantidad de madera que existe para una o más especies, mediante la construcción de funciones de volumen (Cunia, 1964; Green y Strawderman 1985).

El volumen de árboles puede ser estimado previamente establecida la relación entre ciertas dimensiones del árbol y su volumen. Diámetro, altura y forma son variables independientes que comúnmente son usadas para determinar los valores de las variables dependientes (Husch et al. 1982; Prodan, 1997). Algunos modelos de volumen más usados se muestran en la Tabla 6 B.

Existen distintos tipos de funciones de volumen (Caillez, 1980); Funciones de arboles individuales: estas entregan el volumen de un árbol en funciones de variables predictoras de fácil medición, como el dap; funciones agregadas: que entregan el volumen total por unidad de superficie del rodal; y funciones locales parametrizadas: que entregan el

volumen de un árbol como función de variables del propio árbol y variables relacionadas con el rodal.

1.4.2.1 Funciones de volumen de árboles individuales. Las primeras funciones de volumen de árbol individual fueron construidas por Cotta en 1804, y publicadas en 1821, bajo el nombre de Tablas de Volumen Estándar (Spurr, 1952). Las funciones de volumen de árbol individual entregan el volumen de un árbol en función de variables predictoras de fácil medición, como el dap, la altura total o comercial, la clase de forma, etc. (Caillez, 1980).

Dentro de las funciones de volumen de árbol individual se pueden distinguir las funciones basadas en una sola variable independiente, generalmente el dap, llamadas comúnmente "funciones de volumen local" o tarifas (Spurr, 1952; Loetsch et al. 1973; Caillez, 1980; Husch et al. 1982; Prodan, 1997). Algunos modelos de volumen local se entregan en la Tabla 7 B.

Simbólicamente:

$$V = f (d)$$

Donde:

V = volumen.

d = diámetro a la altura del pecho.

El calificativo de local se debe a que estas funciones son de aplicación limitada al área, para la cual es aplicable la relación diámetro/altura implícita en el modelo de volumen (Prodan, 1997).

Las funciones de volumen son únicas para un rodal particular y sólo es posible su uso en el área donde se recolectaron los datos para construirla, es decir, rodales con características homogéneas, igual especie, edad, manejo, etc. (Spurr, 1952; Loetsch et al. 1973; Husch et al. 1982).

1.4.2.2 Funciones de volumen generales. Se denominan funciones generales de volumen a los modelos que presentan dos o más dimensiones del árbol como variables independientes (Spurr, 1952; Loetsch et al. 1973; Husch et al. 1982).

Simbólicamente:

$$V = f(d, h, g, \dots)$$

Donde:

V = volumen.

d = diámetro a la altura del pecho.

h = altura total.

g = área basal.

Por lo general los regresores más usados en este tipo de funciones son: el dap, la altura total o comercial y en algunos casos la expresión de la forma (Prodan, 1997); variables que participan en los modelos de regresión a la forma de diferentes transformaciones. Según Behre y Smith (1935), Ker y Csizmazia (1961) (citados por Agurto, 1997) concluyen que no existe ganancia práctica al introducir la forma del árbol.

Trabajos realizados por Pollanschütz (1965) (citado por Max y Burkhart 1976) muestran que al introducir al modelo una tercera variable (d_i : diámetro a una altura i) y al compararlos con modelos de volumen que usan sólo dos variables independientes (d , h), produce un descenso del valor de la desviación estándar del volumen en más de un 50%, en la mayoría de los casos.

Este tipo de funciones es de uso más general que las tarifas debido a que la relación diámetro-altura está explícita en el modelo (Prodan, 1997). Pueden abarcar áreas más extensas, pero se debe tener cuidado al utilizarlas en regiones alejadas de la zona donde se confeccionó; factores como sitio, manejo y otros pueden alterar severamente su utilidad. Luego, resulta imposible recomendar un modelo único, para el caso de funciones de volumen (Caillez, 1980). Algunos modelos de volumen general se muestran en la Tabla 8 B.

1.4.3 Modelos de ahusamiento. La medición de diámetros a lo largo del fuste y su expresión gráfica se utiliza en la determinación del volumen de árboles individuales. Para este efecto, los diámetros se miden mediante un muestreo destructivo, registrando sus valores con y sin corteza (Prodan, 1997). Un modelo de ahusamiento o modelo fustal es una relación matemática que expresa el diámetro con o sin corteza a cualquier altura del fuste en función de variables de estado de fácil medición en el árbol (Allen, 1992).

Estos modelos permiten al usuario estimar tres características básicas de los árboles, estas son:

diámetros en cualquier punto del fuste, altura del fuste en que se encuentra un diámetro límite especificado y el volumen entre dos puntos cualesquiera del fuste, o volumen hasta cualquier índice de utilización (Prodan, 1997).

Aunque la forma del árbol no puede ser descrita completamente mediante una función matemática, es conveniente asumir que la forma del árbol se aproxima a varios sólidos geométricos (Liu, 1980; Husch et al. 1982). La porción inferior del fuste tiene la forma de un tronco niloide, la porción intermedia la de un tronco paraboloides, y la superior la de un cono (Max y Burkhart 1976). Sin embargo, Grosenbaugh (1966) (citado por Liu, 1980) afirma que cualquier forma funcional preconcebida no representa adecuadamente el ahusamiento del fuste, basándose en la observación de árboles individuales. Estos son capaces de asumir una variedad infinita de formas, por lo cual una definición analítica y explícita de la forma del árbol carece de generalidad. El fundamento de esta afirmación, según Liu (1980), es que el ahusamiento o forma del fuste es un factor inestable y sensitivo a muchas interacciones en un sistema forestal dinámico. Existe evidencia biológica, analítica y visual de que árboles de la misma especie, que crecen en el mismo sitio y que reciben tratamientos similares, asumen una forma distinta.

No obstante esto, los variados objetivos del manejo forestal exigen la estimación de volúmenes de productos rollizos de diversas dimensiones. Así, los manejadores forestales tratan de modelar mediante alguna relación matemática el perfil del árbol, con el objetivo de estimar con precisión volúmenes del fuste hasta ciertos diámetros

límites o comerciales. De ahí la gran importancia que revisten los modelos fustales; gracias a su flexibilidad, y mediante el uso de herramientas de cálculo diferencial o integral, permiten estimar diámetros a diferentes alturas y volumen entre límites comerciales variables.

Los primeros estudios de la forma del fuste indicaron que los árboles seguían una forma geométrica conocida. Höjer (1903) (citado por Demaerschalk, 1972) fue quien primero representó la forma del fuste mediante un modelo matemático. Luego aparecieron más y mejores modelos que se acercaban más al verdadero perfil del árbol.

Demaerschalk (1972) hizo un notable avance en la teoría de las curvas de ahusamiento al desarrollar las llamadas "funciones de ahusamiento compatibles". El término compatible se debe a que la integración de la función da ahusamiento genera un valor total igual al que entrega la función de volumen de la cual fue derivada (sin embargo, no es la única forma de desarrollar una función de ahusamiento). Luego, la exactitud y precisión de la función de ahusamiento depende en forma directa de la exactitud y precisión de volumen que se utilizó para construirla. Entre las funciones de ahusamiento se pueden distinguir tres grupos, ellos son: árboles individuales, segmentados, generales.

1.4.3.1 Funciones de ahusamiento de árboles individuales.

Estas funciones son construidas ajustando una función para cada árbol de la muestra, para luego desarrollar funciones estimadoras de sus coeficientes. De esta manera, el modelo fustal de cada árbol queda determinado ajustando sus

coeficientes con las funciones estimadoras de coeficientes. Caillez (1980) utiliza un polinomio de tercer grado para representar el perfil de árboles individuales y expresa la curva de perfil como:

$$S = f (H)$$

Donde:

S = área de la sección del fuste a la altura H.

H = altura relativa del árbol.

Señala que de esta forma es más fácil la obtención de volúmenes a cualquier altura que usando una relación del tipo:

$$D = f (H)$$

Donde:

D = diámetro del fuste a la altura H.

H = altura relativa del árbol.

Donde los cálculos de volumen son más largos y menos precisos debido a la transformación de unidades.

1.4.3.2 Funciones de ahusamiento segmentadas. Estas funciones representan la forma del fuste por medio de dos o más ecuaciones las que son forzadas a ser continuas en los puntos de unión de las mismas. Max y Burkhart (1976) señalan que la técnica de regresión segmentada aproxima al perfil del fuste de mejor manera que los modelos cuadráticos que no son segmentados, utilizados extensamente por otros autores.

1.4.3.3 Funciones de ahusamiento generales. Estas funciones son las más comunes; entre ellas encontramos las funciones polinomiales que se construyen mediante diferentes métodos, con diferentes variables independientes y dependientes, y exponentes que pueden llegar a sobrepasar el grado 50, llamadas también "funciones potencia".

Los modelos de ahusamiento generales representan el perfil promedio del fuste para toda una población (Forslund, 1990).

Los últimos estudios señalan que los modelos sigmoidales complejos son más eficientes que las funciones potencia (Forslund, 1990).



II METODOLOGIA

2.1 Materiales

Para desarrollar el software se utilizó, a modo general, el siguiente hardware: un computador con procesador Celeron de 466 MHz, 32 MB de memoria RAM y un disco duro de 8,4 GB; equipado con el siguiente software: sistema operativo Windows® 98 y, el programa para desarrollar software para Windows®, Visual Basic® 5.0.

2.2 Descripción del Software

El software consistirá en lograr desarrollar un programa computacional que permita calcular el volumen de madera de plantaciones forestales de *Pinus radiata* D. Don, según sea la zona geográfica en la cual se encuentra. Para esto el software poseerá las siguientes bases de datos:

- a) Funciones de Volumen
- b) Funciones de Ahusamiento

2.3 Definición de requisitos.

La definición de los requisitos del software permitirá comprender la suma facultades que necesita el programa para su funcionamiento. Los requisitos los podemos dividir en dos tipos: Funcionales y Operacionales.

2.3.1 Requisitos funcionales del software. Como característica principal se puede señalar que el software puede trabajar independientemente de cualquier otro programa, a diferencia de los que trabajan con bases de

datos, lo que le otorga gran autonomía. El software debe permitir que el usuario seleccione una función de volumen y la opción de poder simular o no el trozado de los árboles para obtener productos. Finalmente, el software entregará un resumen con los ítems más importantes. Cabe señalar que en las páginas principales se encuentra la opción de imprimir.

2.3.2 Requisitos operacionales del software. La información que el usuario debe ingresar al sistema para que el software opere es la siguiente:

❖ En el caso de los datos generales se debe ingresar:

- Nombre del predio
- Rol S.I.I.
- Comuna
- Provincia
- Región
- Superficie del predio (hectárea)
- Edad del rodal

Estos datos son optativos de llenar excepto la edad del rodal la cual es necesaria para los cálculos posteriores.

❖ En el caso de Tabla de Rodal se debe ingresar:

- Número de clases
- Marcas de cada clase
- Altura de la clase correspondiente
- Número de árboles por hectárea de la clase correspondiente.

Todos estos datos son de obligación ingresarlos por parte del usuario.

- ❖ Si el usuario elige la opción "Calcular volumen según productos", los datos que se deben ingresar son los siguientes:

- Nombre del producto
- Largo del producto
- Diámetro mínimo para el producto

2.4 Estructura organizacional del sistema.

La estructura organizacional representa la jerarquía y orden de los diferentes módulos y de las distintas rutinas que conforman el sistema. Como se puede ver en la Figura 1, el sistema consta de cuatro niveles; el primero corresponde a la pantalla de bienvenida y se puede optar por entrar o salir del programa; el segundo corresponde a la pantalla principal donde se puede optar al menú; el tercero es el menú "Archivo" el cual tiene que ver directamente con las aplicaciones del software; y el cuarto corresponde a los submenús "Crear Tabla Rodal" y "Salir".

2.5 Fórmulas y funciones usadas en el software.

La mayor cantidad de funciones y fórmulas usadas en este software fueron obtenidas del Manual 14 (INFOR 1985) y de otras fuentes, las cuales se detallan en las Tablas 1B, 2B, 3B, 4B y 5B.

2.6 Entrega de resultados.

Los resultados se desplegarán en pantalla, y se tendrá la opción de imprimir las diferentes pantallas y los resúmenes que se logren con el software.



FIGURA 1. Diagrama de la estructura organizacional del sistema.

III RESULTADOS

CAVOLMAD 1.0 es un software que permite realizar el cálculo de volúmenes de maderas de plantaciones forestales de ***Pinus radiata***, contando para esto con una base de datos de funciones de volumen para diferentes zonas. Para hacerlo, el programa necesita que se le indique que tarea realizar e ingresar algunos datos del rodal. El diagrama general del procedimiento se muestra en la Figura 2.

3.1 Variables de entrada.

Al iniciar el programa, se deben ingresar datos generales que conciernen al predio, los cuales se pueden obviar excepto la edad del bosque, la cual será usada para cálculos que realiza el software.

3.2 Selección de función.

Se debe realizar una selección de la tarea que debe realizar el software, esto es entre volumen cúbico o volumen aserrable. Luego de realizado esto se despliega un menú en el cual se encuentran las diferentes zonas geográficas para las cuales hay disponibilidad de funciones. Después de esto se selecciona la función que más satisface la necesidad del usuario. Si el usuario desea calcular volumen por producto, el programa también lo consulta, para lo cual se debe ingresar nombre, largo y diámetro del producto.

3.3 Variables de cálculo.

Las variables de cálculo se refieren a datos propios del rodal, estos son: número de clases, marcas de clase, números de árboles por hectárea y altura, según sea la clase.

3.4 Salida de resultados.

La entrega de información se realiza en forma de Tabla de Rodal y también como un resumen de la información más importante. CAVOLMAD 1.0 entregan la información en pantalla y también en la impresora.

3.5 Características principales del software.

Es un software muy amigable y simple de usar ya que se basa principalmente en la selección de alternativas, pero la característica más importante es que es un programa totalmente autónomo en su funcionamiento solo dependiendo de Windows®, es decir, no necesita de otros software como son las bases de datos o planillas de cálculo.

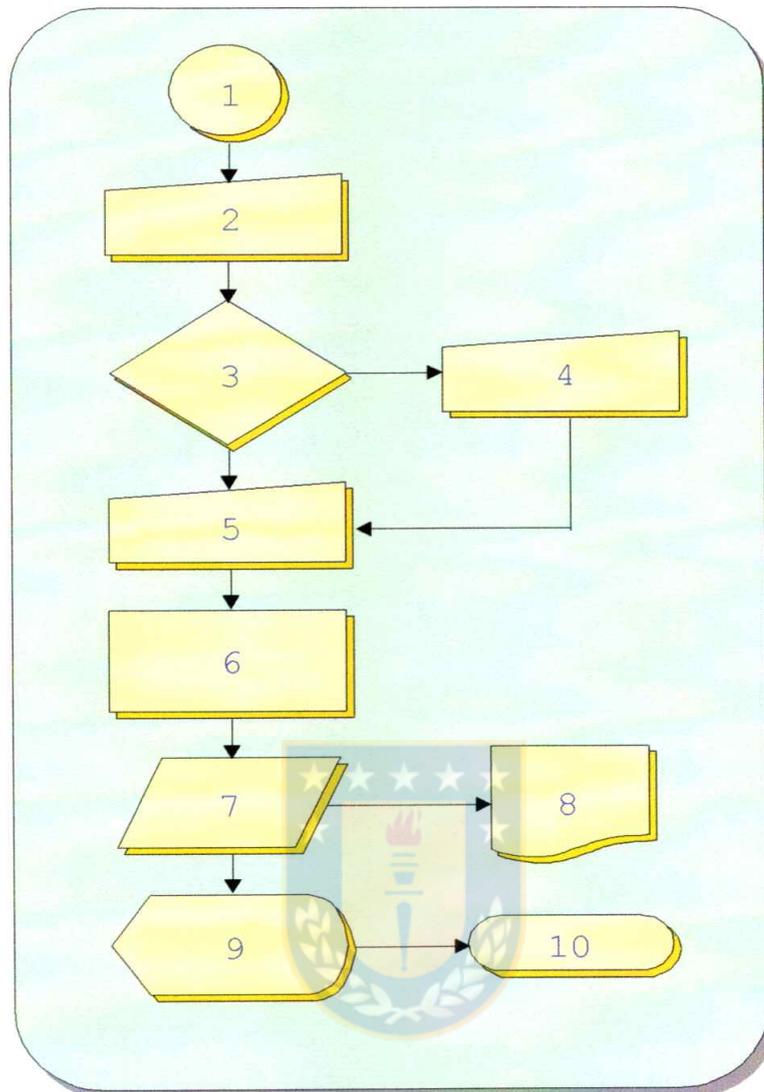


FIGURA 2. Diagrama general del procedimiento. Donde:
1 = Inicio del programa, 2 = Ingreso de datos generales,
3 = Seleccionar tareas, 4 = Ingreso de datos de trozado,
5 = Ingreso de datos de Tabla de Rodal, 6 = Procesamiento,
7 = Resultados, 8 = Pantalla, 9= Impresora, 10= Fin.

IV DISCUSIÓN

El disponer de herramientas que faciliten y agilicen ciertas tareas, es una tendencia de este mundo moderno. Pero para que estas herramientas no sólo sean efectivas, se debe disponer de la mayor cantidad de información veraz posible, para que lleguen a ser eficientes.

El sector forestal no queda al margen de esta situación. La muy poca información disponible, y me refiero con esto a: funciones de volumen, funciones de ahusamiento, funciones de rendimiento, etc.; son celosamente guardadas por sus creadores o poseedores, debido a la ventaja comparativa que les representa. Al mismo tiempo la información existente es demasiado general lo que aumenta la inexactitud de los resultados.

Los privados e instituciones públicas relacionados al sector deberían encontrar un mecanismo que invirtiera esta situación, lo que podría llevar a los pequeños propietarios a invertir más en el área forestal, ya que poseerían más herramientas para hacer más claro y rentable el negocio.

V CONCLUSIONES

CAVOLMAD 1.0 es un software que permite realizar en forma rápida y segura el cálculo de volúmenes de maderas de plantaciones forestales de ***Pinus radiata***.

CAVOLMAD 1.0 permite ahorrar tiempo y dinero a profesionales forestales que trabajan con pequeños propietarios y que no poseen herramientas como ésta.

CAVOLMAD 1.0 puede servir de mucha ayuda a académicos como una herramienta de apoyo a la enseñanza.



VI RESUMEN

En los últimos diez años se han creado una gran cantidad de software apuntados principalmente a solucionar los problemas de las empresas forestales.

Partiendo de esta base se planteó crear un software apuntado al sector forestal ajeno a las empresas, que permitiera calcular volúmenes de madera de plantaciones de ***Pinus radiata***, logrando con esto disminuir el tiempo que se emplea en esta operación de una forma rápida y segura.

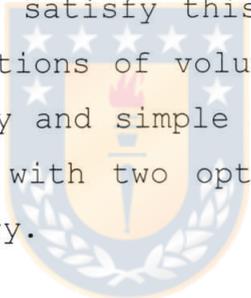
CAVOLMAD 1.0, pretende satisfacer esta necesidad, y para ello cuenta con base de datos de funciones de volumen y funciones de ahusamiento. Este es un software muy amigable y sencillo, en donde el usuario puede imprimir los resultados con dos opciones: en forma de Tabla de Rodal y como resumen.

VII SUMMARY

In the last ten years have been created a great quantity of software pointed mainly to solve the problems of the forest companies.

Parting of this base outline to create a special software pointed to the forest sector unaware to the companies that allowed to calculate wooden volumes of plantations of *Pinus radiata*, achieving with this the time that is used in this operation in a quick and sure way to diminish.

CAVOLMAD 1.0, seeks to satisfy this necessity, and for it has a database of functions of volume and taper functions. This is a very friendly and simple software where the user can print the results with two options: in form of stand chart and like a summary.



VIII BIBLIOGRAFIA

1. Agurto, N., 1997. Software para la validación de supuestos de regresión aplicados a funciones de volumen y ahusamiento. Memoria de título. Universidad de Concepción, Chile.
2. Allen, P.J., 1992. Polynomial taper equation for ***Pinus caribaea***. N. Z. J. For. Sci. 21829: 194-205.
3. Bruce, D. and F. Schumacher, 1950. Medición forestal. Editorial Herrero. México.
4. Caillez, F., 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia espacial a los trópicos. Volumen I y II. F.A.O. Roma.
5. Cunia, T., 1964. Weighted least squares method and construction of volume tables. For. Sci. 10(2): 180-187.
6. Demaerschalk, J.P., 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. For. Sci. 18:241-245.
7. Forslund, R.R, 1990. The power function as a simple stem profile examination tool. Can. J. For. Res. 21:193-198.
8. Green, E.J. and W.E. Strawderman, 1985. The use of bayes/empirical bayes estimation in individual tree volume equation development. For. Sci. 31(4):975-990.

9. Halvorson, M., 1999. Aprende microsoft visual basic 6.0 ya. McGraw-Hill/Interamericana de España.
10. Husch, B. et al.. 1982. Forest mensuration. Jhon Wiley and Sons. 3ª edición.
11. Liu, C.J., 1980. Log volume estimation with spline approximation. For. Sci. 26(3):361-369.
12. Loetsch, F. et al., 1973. Forest inventory. Munchen Bern Wien.
13. Max, T.A. and H.E. Burkhart, 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. For. Sci. 22(3):283-289.
14. Nelson, R. 1994. Guía completa de Visual Basic para Windows. Ediciones McGraw-Hill/Interamericana de México..
15. Peters, R. 1985. Compendio de tablas auxiliares para el manejo de plantaciones de pino insigne. INFOR, Chile.
16. Prodan, M. et al., 1997. Mensura Forestal. IICA y GTZ, Costa Rica.
17. Spurr, S.H., 1952. Forest inventory. The Roland Press Company. New York.
18. Valdés, Sergio et al.. Dendrometría para técnicos forestales. Universidad de Concepción. Los Angeles, Chile 1976.

IX APENDICE

9.1 Manual del usuario de CAVOLMAD 1.0

CAVOLMAD 1.0 es un programa computacional que permite realizar en forma fácil y rápida el cálculo de volumen de madera de una plantación de *Pinus radiata*, según sea su localización geográfica y poder con esto hacer un cálculo estimativo del precio de venta del producto, lo que permitiría tomar decisiones en forma más rápida. Para esto el programa posee las siguientes bases de datos: Funciones de volumen, funciones de ahusamiento y precio de compra.

Al ingresar al programa, se exhibe la pantalla de bienvenida, en la cual el operador puede optar a entrar o salir de él, tal como se presenta en la Figura 1 A.

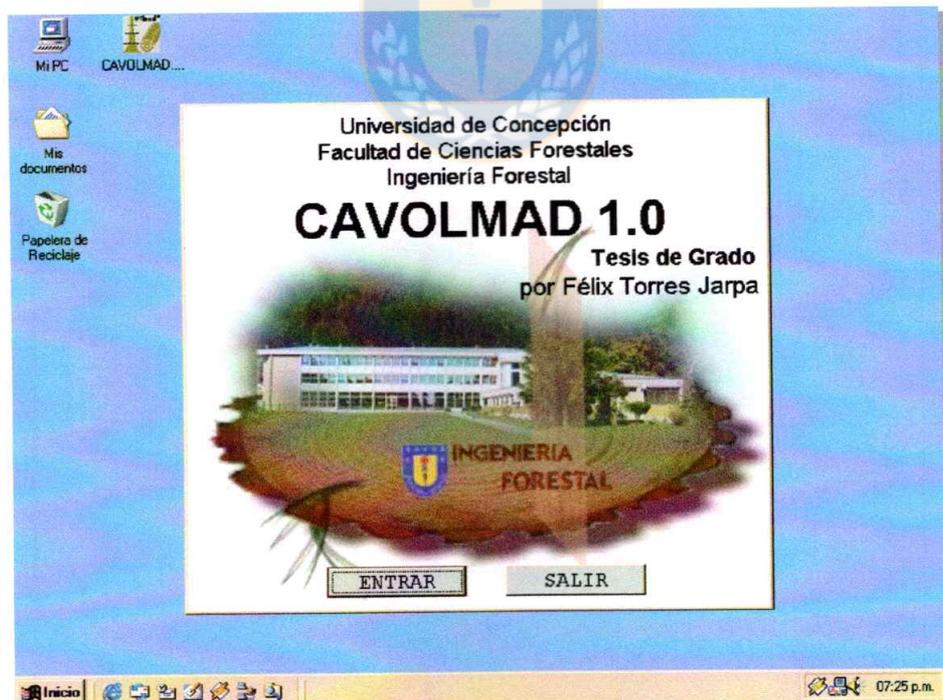


FIGURA 1 A. Pantalla de bienvenida de CAVOLMAD 1.0.

Si eligió la opción entrar aparecerá la Figura 2 A.

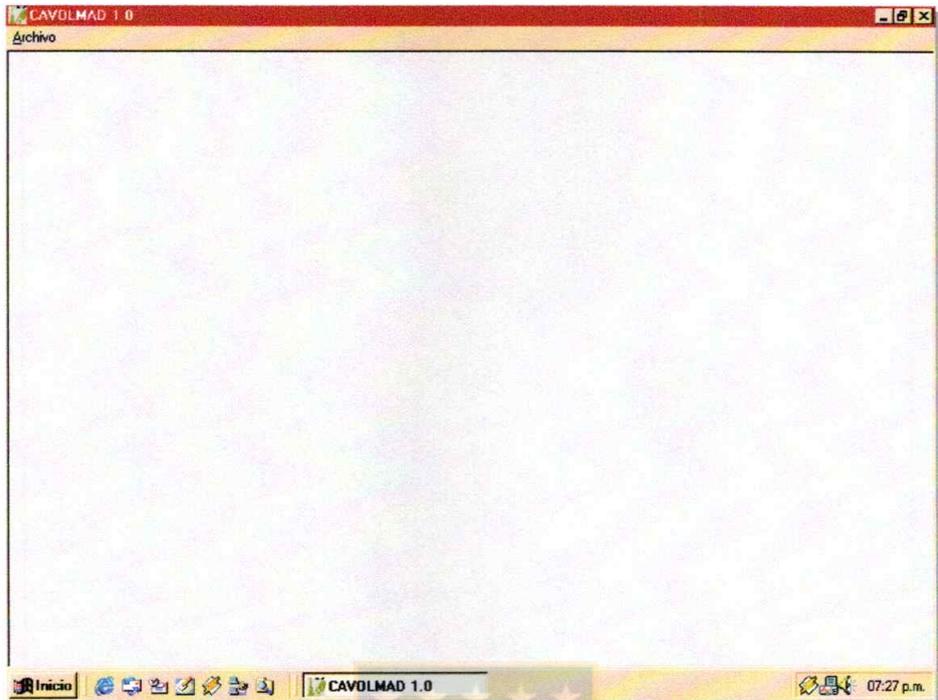


FIGURA 2 A. Pantalla del menú principal

Aquí se puede observar que existe un menú principal donde se encuentra la opción "Archivo"; aquí podemos acceder al submenú "Crear Tabla Rodal", en el cual damos comienzo a los cálculos propios del programa; y también aparece el submenú "Salir" que es para salir del programa en cualquier momento.

Si el usuario elige la opción "Crear Tabla Rodal" aparecerá la Figura 3 A.

The image shows a screenshot of a software window titled 'CAVOLMAD 1.0 - [Datos]'. The window contains a form titled 'DATOS GENERALES'. The form has the following fields:

NOMBRE PREDIO	<input type="text"/>
ROL S.I.I.	<input type="text"/>
COMUNA	<input type="text"/>
PROVINCIA	<input type="text"/>
REGIÓN	<input type="text"/>
SUPERFICIE (há)	<input type="text"/>
EDAD RODAL (años)	<input type="text"/>

Below the fields is a button labeled 'Aceptar'. The Windows taskbar at the bottom shows the time as 07:28 p.m. and the application name as 'CAVOLMAD 1.0 - [Da...'.

FIGURA 3 A. Pantalla de datos generales del predio.

Esta pantalla corresponde a los datos generales del predio, tales como: "NOMBRE DEL PREDIO", "ROL S.I.I.", "REGIÓN", "PROVINCIA", etc. Entre estos se encuentra "EDAD DEL BOSQUE" la cual debe ser ingresada obligatoriamente, las demás son opcionales; si "Superficie" se deja vacía el programa la toma como 1 hectárea. Al presionar el botón aceptar se pasa a la siguiente pantalla en la cual el sistema consulta que tarea quiere que se realice, estas son dos: volumen cúbico y volumen aserrable.

Cualquiera sea la opción elegida aparecerá en pantalla las zonas para las cuales existen funciones de volumen del tipo seleccionado. Luego de presionar el botón aceptar se mostraran las funciones de volumen que existen para esa zona.

Seguidamente el usuario puede optar por determinar los volúmenes según los productos que quiera obtener del

bosque, para lo cual debe ingresar el nombre, largo, y diámetro mínimo del producto; según se muestra en la Figura 4 A.

	Nombre	Largo (m)	Diámetro Mínimo (cm)
Producto 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Producto 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Producto 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Producto 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Producto 5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Nota:
Los productos deben ser ingresados en orden de importancia.

FIGURA 4 A. Pantalla para definir los productos.

La función de ahusamiento que usa el programa fue construida para la zona de Arauco, así que el usuario elige si usarla o no.

Si el operador elige o no usar la función de ahusamiento pasará a la pantalla donde se construye la Tabla de Rodal, tal como lo muestra la Figura 5 A.

Aquí el usuario ingresará el número de clases con las cuales va a trabajar. El programa trabaja con un máximo de 10 clases. El operante sólo deberá ingresar las clases y sus respectivas alturas.

Una vez finalizado el ingreso de estas variables, se debe presionar el botón "Calcular" y el software calculará en forma automática el área basal y volumen por hectárea y total, respectivamente.

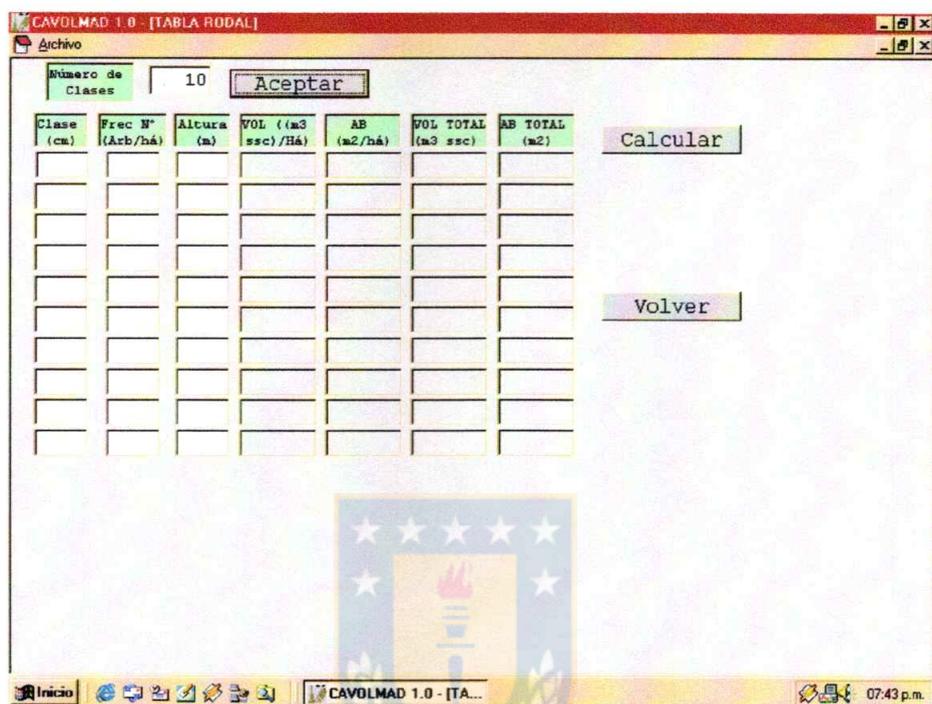


FIGURA 5 A. Pantalla para crear Tabla de Rodal.

Al pasar a la pantalla siguiente, sólo si es que se eligió calcular volúmenes según productos, aparecerá el detalle de estos, lo que se puede apreciar en la Figura 6 A; de lo contrario, se mostrará un resumen con la información del predio, las funciones usadas y los totales de los volúmenes calculados. Esto se muestra en la Figura 7 A.

CAVOLMAD 1.0 - [Número y Volumen de Trozas por Productos]

Archivo

Volumen y N° Trozas por:

Total Hectarea

Resumen Imprimir Volver

Clase	N° T	Vol (m3)								
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Inicio CAVOLMAD 1.0 - [Nú... 07:46 p.m.

FIGURA 6 A. Pantalla de número de trozas y volúmenes por productos.

CAVOLMAD 1.0 - [RESUMEN]

Archivo

DATOS GENERALES

NOMBRE _____ REGIÓN _____ Terminar

ROL S.I.I. _____ SUPERFICIE (Há) 1 Imprimir

COMUNA _____ EDAD (años) 18 Volver

PROVINCIA _____

FUNCIONES

LA FUNCIÓN DE VOLUMEN USADA ES $V = 0.001881 + 0.000000349531 * D ^ 2 * H * t$

LA FUNCIÓN DE ARUSAMIENTO USADA ES $d1/d=a((h-1)/(h-1.3))+b((h-1)/(h-1.3))^2+c((h-1)/(h-1.3))^3$

Corré:
 $d1/d=a((h-1)/(h-1.3))+b((h-1)/(h-1.3))^2+c((h-1)/(h-1.3))^3$

VOLUMENES POR: Total Hectarea

VOLUMEN MADERA pie mad ssc	0	NÚMERO TOTAL TROZA	0
VOLUMEN TOTAL m3scc	0	NÚMERO TOTAL TROZA	0
VOLUMEN TOTAL m3scc	0	NÚMERO TOTAL TROZA	0
VOLUMEN TOTAL m3scc	0	NÚMERO TOTAL TROZA	0
VOLUMEN TOTAL m3scc	0	NÚMERO TOTAL TROZA	0
VOLUMEN TOTAL m3scc	0	NÚMERO TOTAL TROZA	0

Inicio CAVOLMAD 1.0 - [RE... 07:56 p.m.

FIGURA 7 A. Pantalla de resumen de los cálculos.

9.2 Acerca del *Pinus radiata* D. Don

Proveniente de la costa de California, el *Pinus radiata* D. Don fue introducido en Chile a fines del siglo XIX, adaptándose perfectamente a las condiciones climáticas del país. Tanto así, que su tasa de crecimiento promedio es muy superior al incremento medio anual de los bosques de coníferas de Canadá, la ex Unión Soviética, Suecia e, incluso de su país de origen, Estados Unidos.

El *Pinus radiata* crece en una gran diversidad de ambientes. Puede vivir con precipitaciones relativamente bajas, pero prospera indiferente a las condiciones del suelo, ya que en Chile ha ocupado terrenos improductivos abandonados por la agricultura y en los cuales la recuperación de la vegetación nativa es difícil.

En la práctica, ha demostrado poseer buenas aptitudes crecimiento y desarrollo en cualquier lugar del país, excepto en lugares muy secos (desiertos del norte), en la cordillera de Los Andes, en suelos pantanosos y en lugares con abundantes nevadas y temperaturas más allá de los siete grados bajo cero.

Los crecimientos óptimos para el *Pinus radiata* se encuentran entre Constitución y Valdivia, en las colinas de la cordillera de la costa, con temperaturas mínimas no inferiores a los cinco grados bajo cero y precipitación media anual entre mil y dos milímetros. Allí puede crecer a ritmos anuales superiores a 25 metros cúbicos por hectárea. En Chile se ha plantado alrededor de 1.760.000 hectáreas de esta conífera. Es un árbol de excelente forma, que puede

alcanzar alturas cercanas a los 40 metros, con crecimientos medios de 1,5 a 3 centímetros por año en diámetro.

De color blanco cremoso, su madera es permeable y muy fácil de secar e impregnar. Es posible pulirla hasta lograr un fino acabado. Por su estabilidad y buena resistencia estructural retiene muy bien clavos y tornillos y se comporta en forma excepcional ante pegamentos. Su color claro permite teñirla y pintarla en cualquier tono. Por todas estas características se emplea en diversos usos: revestimientos de interiores y exteriores, estructuras de vivienda, fabricación de muebles, molduras y embalajes. También es apreciada en la fabricación de postes agrícolas y de transmisión eléctrica.

Así mismo su fibra, resistente y de gran rendimiento es reconocida internacionalmente como materia prima para la fabricación de pulpa, elaboración de papel, tableros de fibras, tableros de partículas y contrachapados.

X ANEXO

TABLA 1 B. Funciones generales de volumen cúbico individual para las provincias de Linares a Malleco.

$$\begin{aligned}
 V_{10} &= 0.001881 + 0.000000349531 * d^2 * h * f \\
 V_{15} &= -0.084734 + 0.000000359402 * d^2 * h * f \\
 V_{20} &= -0.244219 + 0.000000366351 * d^2 * h * f \\
 V_{25} &= -0.525552 + 0.000000380398 * d^2 * h * f
 \end{aligned}$$

TABLA 2 B. Funciones generales de volumen cúbico individual para las provincias de Bío-Bío a Malleco (excluido arenales).

$$\begin{aligned}
 V &= 0.000025085 * d^2 * h + 0.002203 - 0.02392 \\
 V_{10} &= 0.000017431 * d^2 * h - 0.000001 * d^2 * h^2 + \\
 &\quad 0.000038826 * d * h^2 - 0.012666 * h + 0.00000036 \\
 &\quad * d^3 * h + 0.093512 \\
 V_{20} &= 0.000047783 * d^2 * h - 0.00069101 * d^2 + \\
 &\quad 0.19384 - 0.013101 * h \\
 V_{30} &= 0.000084997 * d^2 * h - 0.0078874 * h + 0.001457 * \\
 &\quad d * h + 0.00000156 * d^3 * h
 \end{aligned}$$

TABLA 3 B. Funciones generales de volumen cúbico individual para las provincias de Concepción, Arauco.

$$\begin{aligned}
 V_{10} &= -0.016544 + 0.00002744657 * d^2 * h \\
 V_{20} &= 0.01838 - 0.008789 * h - 0.0000708 * d^2 + \\
 &\quad 0.00002743 * d^2 * h
 \end{aligned}$$

TABLA 4 B. Funciones generales de volumen cúbico individual para las provincias de X Región.

$$V = -0.0356 + 0.00003208 * d^2 * h$$

Si $10 \leq d \leq 20$

$$V = 0.001881 + 0.000000349531 * d^2 * h * f$$

Si $d > 20$

TABLA 5 B. Funciones generales de volumen aserrable para las provincias de Linares a Malleco.

$$V_{10} = -21.174602 + 0.000079296 * d^2 * h * f$$

$$V_{15} = -34.578326 + 0.00008144 * d^2 * h * f$$

$$V_{20} = -63.46938 + 0.000083727 * d^2 * h * f$$

$$V_{25} = -137.85761 + 0.000090102 * d^2 * h * f$$

Donde:

V = Volumen cúbico total (m^3 sin corteza).

V_x = Volumen cúbico (m^3) o aserrable (pies madereros) según diversos índices de utilización, sin corteza.

d = DAP medio de la clase de diámetro (cm).

h = Altura total para la clase de diámetro (m).

f = Clase de forma de Girard.

TABLA 6 B. Modelos de volumen más usados.

Modelo	Variable Independiente	Variable Independiente
$V=A+d^2$	V	d^2
$V=A+Bd^3$	V	d^3
$\ln(V)=A+B\ln(d)$	$\ln(V)$	$\ln(d)$
$\ln(V)=A+B(1/\ln(d))$	$\ln(V)$	$1/\ln(d)$
$V=A+Bd+Cd^3$	V	d, d^3
$V=A+Bd^3+Cd^{1/2}$	V	$d^3, d^{1/2}$
$V=A+Bd+Cd^{1/2}$	V	$d, d^{1/2}$
$V=A+B\ln(d)+C/d^2$	V	$\ln(d), 1/d^2$
$V=A+B\ln(d)+C/d^{1/2}$	V	$\ln(d), 1/d^{1/2}$
$V=A+Bd^2h$	V	d^2h
$V=A+Bd+Cd^2+Dd^3$	V	d, d^2, d^3
$V=A+Bd^3+C(d^2/(d+10))$	V	$d^3, d^2, 1/(d+10)$
$\ln(V)=A+B\ln(d)+C\ln(h)+D\ln(f)$	$\ln(V)$	$\ln(d), \ln(h), \ln(f)$
$V=A+Bd^2hf$	V	d^2hf
$V=A+Bh+Cd^2hf$	V	h, d^2, d^2h

Donde:

V = volumen (m^3).

d = diámetro a la altura del pecho (cm).

h = altura total (m).

f = clase de forma de Girard.

A, B, C, D = coeficientes de regresión.

TABLA 7 B. Algunos modelos de volumen local.

Modelo	Variable Independiente	Variable Independiente
$V=B_0+B_1d^2$	V	d^2
$V=B_0+B_1d+B_2d^2$	V	d, d^2
$V=B_0+B_1g$	V	G

TABLA 8 B. Algunos modelos de volumen general.

Modelo	Variable Independiente	Variable Independiente
$V=B_1d^2 \cdot h$	V	d^2
$V=B_0+B_1d^2+B_2h+B_3d^2h$	V	d^2, h, d^2h
$V=B_1d^{b_2}h^{b_3}$	V	$d^{b_2}h^{b_3}$
$V=B_0+B_1d^{b_2}h^{b_3}$	V	$d^{b_2}h^{b_3}$
$V=d^2 / (B_0+B_1h^{-1})$	V	d^2, h^{-1}

Donde:

V = volumen (m^3).

d = diámetro a la altura del pecho (cm).

h = altura total (m).

g = área basal (m^2)

B_0, B_1 = coeficientes de regresión.

TABLA 9 B. Modelo de ahusamiento usado en el software.

Modelo de ahusamiento de Coffré:

$$\frac{D}{d} = a * \left(\frac{h - h_i}{h - 1.3} \right) + b \left(\frac{h - h_i}{h - 1.3} \right)^2 + c \left(\frac{h - h_i}{h - 1.3} \right)^3$$

Funciones estimadoras de a, b, c:

$$a = 0.35958 + 3.58815 \frac{h}{d} + 0.075587 \frac{E^2}{h} - 0.53223 \frac{h * \sqrt{E}}{d} - 2.56737 \frac{\sqrt{E}}{d} - 2.19219 * 10^{-6} * d^2 * h$$

$$b = 0.7761614 - 2.49394 * a + 3.84072 \frac{h}{d} - 1.52782 \frac{h^2}{d^2} - 0.0754085 \frac{h \sqrt{E}}{d}$$

$$c = 1.062428 - 1.08145 * b - 1.12346 * a - 0.00532087 \frac{E^2}{h}$$

Donde:

D = Diámetro superior a una altura h_i (cm).

d = Diámetro con corteza a 1.3 metros (cm).

h_i = Altura de medición del diámetro (cm).

h = Altura total del fuste (m).

E = Edad (años)

a, b, c = Coeficientes de regresión.

Zona = Arauco.

TABLA 10 B. Modelos de ahusamiento más usados.

Modelo	variable dependiente y	Variable independiente x
$Y^2 = A+BX+CX^2$	d/D	hi/h
$Y^2 = A(X-1)+B(X^2-1)$	d/D	hi/h
$Y = A+BX+CX^2+DX^3+EX^4+FX^5$	d/D	hi/h
$Y = AX+BX^2+CX^3$	d/D	$(h-hi)/(h-1.3)$
$Y^2 = AX+BX^2+CX^{10}+DX^{13}+EX^{20}$	d/D	$(h-hi)/(h-1.3)$
$Y = A(X^3+X^2)+B(X^8+X^2)+C(X^{40}+X^2)$	$(d/D)^2-X^2$	$(h-hi)/(h-1.3)$
$Y^2 = AX^{3/2}+B(X^{3/2}-X^3)d+C(X^{3/2}-X^3)h+D(X^{3/2}-X^{32})dh+E(X^{3/2}-X^{32})h^{1/2}+F(X^{3/2}-X^{40})^2$	d/D	$(h-hi)/(h-1.3)$
$Y = AX^{R/2}$	d	$(h-hi)/h$
	$R=1+(h-hi)/(h-1.3)$	

Donde:

D = diámetro fustal sin corteza a una altura h del árbol (cm).

d = diámetro altura del pecho (cm).

hi = altura de medición de los diámetros fustales (cm).

h = altura total del fuste (m).

A, B, C, D, E, F = coeficientes de regresión.