



**UNIVERSIDAD DE TALCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**FUNCIONES DE BIOMASA TOTAL Y POR  
COMPONENTES DEL ESPINO (*Acacia caven Mol.*) EN  
PENCAHUE, VII REGIÓN.**



**GIOANNA DEL C. PARRA VALDÉS**

**Tesis para optar al grado de  
LICENCIADO EN CIENCIAS FORESTALES**

**Profesor Guía: PABLO ARACENA GATICA**

**Profesor Consejero: URSULA DÖLL**

**TALCA - CHILE  
2001**

UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

La alumna Sra. GIOANNA DEL CARMEN PARRA VALDÉS, ha realizado la tesis: “Funciones de biomasa total y por componentes del espino (*Acacia caven Mol.*) en Pencahue, VII Región”, como uno de los requisitos para optar al Grado de Licenciado en Ciencias Forestales, con el profesor Sr. Pablo Aracena Gatica, como profesor guía.

La comisión de calificación constituida por los profesores Sres.: Marisol Muñoz Villagra, Ursula Döll y Pablo Aracena Gatica la evaluó con un 6,8 (seis coma ocho) como nota promedio.

TALCA, CHILE

2001



CRISTIAN LOPEZ MONTECINOS

**DEDICADA:**

**A mis padres  
Marianela y Ricardo.  
A Pablo y a nuestro Bastian.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme lograr mis metas.

A mis padres, hermanos y familia en general, por el apoyo que siempre me supieron dar y por estar ahí cada vez que los necesite.

A Nora por ser mi ángel en la tierra y darme las fuerzas que muchas veces me faltaron.

Al profesor Oscar Vallejos con quien inicié mi tesis, por su confianza y disponibilidad que siempre tubo para mi.

A Pablo Aracena profesor guía, por su paciencia y capacidad de ayudar siempre.

A la profesora Ursula Döll por su apoyo incondicional.

A todos los que de una u otra forma hicieron posible el logro de mi tesis.

## ÍNDICE

	PÁGINA
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO	3
2.1. Objetivo General	3
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Características de la Especie	4
3.1.1 Distribución	4
3.1.2 Biología	4
3.1.3 Ecología	6
3.1.4 Aprovechamiento	6
3.2. Biomasa	7
3.2.1 Aplicación en Ecosistemas Forestales	8
3.2.2 Estudio de Biomasa en <i>Acacia caven</i>	10
3.2.3 Métodos de Estimación de la Biomasa	12
3.3. Supuestos del Método de Mínimos Cuadrados	14
3.3.1 Normalidad	14
3.3.2 Homocedasticidad	15
3.3.3 Multicolinealidad	16
3.4. Selección del Valor-p	17
3.5. Validación	18
IV. MATERIALES Y MÉTODO	22
4.1. Materiales	22
4.2. Lugar de Estudio	23
4.2.1 Ubicación Geográfica y Administrativa del Área en Estudio	23
4.2.2 Clima	23
4.2.3 Suelo	24

4.2.4 Antecedentes Vegetacionales	24
4.3. Método	25
4.3.1 Selección de los Árboles Muestra	25
4.3.2 Determinación de Pesos Verdes y Secos de las Muestras	26
4.3.3 Estimación de la Masa Verde y Seca de cada Componente	29
4.3.4 Ajuste de Modelos de Biomasa	30
4.3.5 Validación de las Funciones	31
V. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
5.1. Porcentajes de Pesos Verde y Seco Total	32
5.2. Ajuste de Modelos	33
5.2.1 Significancia de los Parámetros	35
5.2.2 Verificación de los Supuestos del Método de Mínimos Cuadrados	37
5.3. Validación de los Modelos	38
VI. CONCLUSIONES	42
VII. BIBLIOGRAFÍA	44
VIII. APÉNDICES	48
IX ANEXOS	59

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Funciones de biomasa para espino realizadas en el país	11
2	Evaluación de la exactitud de la estimación de la función de Biomasa	20
3	Contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y pH	24
4	Fórmulas para la estimación del peso verde total de cada componente	29
5	Fórmulas para la estimación del peso seco total de cada componente	30
6	Porcentaje de peso verde y seco de cada componente sobre el peso total	32
7	Funciones de biomasa obtenidas para cada componente	34
8	Estadísticas básicas de las variables independientes de las funciones de biomasa	35
9	Pruebas t y F de significancia de los parámetros de los modelos	35
10	Valor-p de los test de Shapiro Wilks y Bartlett para probar Normalidad y Homocedasticidad	37
11	Clasificación del sesgo de los modelos obtenidos	39
12	Exactitud del modelo en base a la aplicación de la prueba Freese (1960)	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1	Evidencia con que se rechaza la hipótesis nula	17
2	Tipos de sesgo en la función de biomasa	19
3	Diagrama ombrotérmico	23
4	Recolección de muestras	49
5	Volteo de un árbol	49
6	Árbol volteado	50
7	Separación de cada componente del árbol	50
8	Obtención del fuste	51
9	Ramas y ramillas separadas	51
10	Pesaje de ramillas	52
11	Pesaje de ramas	52
12	Pesaje de fuste	53
13	Obtención de rodela de fuste con motosierra	53
14	Obtención de rodela de fuste con serrucho	54
15	Pesaje de muestras de fuste	55
16	Obtención de corteza	56
17	Pesaje de corteza	56
18	Pesaje de muestras en laboratorio	57

## RESUMEN

El espino es una de las especies nativas más interesantes que crecen en la zona central de Chile. Sin embargo, los métodos tradicionales de explotación de la especie se caracterizan por una sobre-utilización de este recurso dejándolo en un evidente estado de degradación. Para lograr un manejo eficiente en el uso de esta especie, es necesario conocer su potencial productivo, es decir, estimar su rendimiento mediante funciones de biomasa.

A través de este estudio se ajustaron y validaron funciones para la estimación de biomasa total y por componente para la especie *Acacia caven* en la zona de Pehuenhue VII región.

Para estimar la biomasa verde y seca de los árboles, se muestrearon y pesaron completamente 40 árboles. El peso de estos árboles muestra, se determinó separando y pesando en forma independiente los componentes que forman el árbol como: fuste, corteza, ramas, ramillas, hojas, flor y fruto. La selección de los modelos se basó en el mayor  $R^2$  ajustado, el menor error estándar de la estimación, la simplicidad de los mismos y su respectiva validación.

Los modelos obtenidos para los distintos componentes presentaron  $R^2$  ajustado superiores a 58,69, errores estándar de estimación menores a 0,6833 y la validación entregó exactitudes entre 84% y 96%.

Finalmente, los modelos obtenidos fueron adecuados para la estimación de la biomasa seca y verde en las condiciones de la zona en donde se desarrolló el estudio.

## SUMMARY

The espino is one of the most interesting native species that grows in the central zone of Chile. However, the traditional methods of exploitation of the species is characterized by an over use of the resource, leaving it in an evident state of degradation. In order to achieve an efficient handling in the use of this species, it is necessary to know its productive potential; that's to say estimating its performance by means of functions of biomass.

By means of this study, it was adjusted and validated functions for the estimation of total biomass and by components for the species *Acacia caven* in the Pencahue area of the VII región.

In order to calculate the green and dry biomass from the trees, 40 trees were sampled and weighted. The weight of these sampled trees was determined by separating and weighting the components that form the tree independently such as: stem, bark, branches, little branches, leaves, flower and fruit. The selection of the models was based on the highest  $R^2$  adjusted, the lowest standard deviation of estimation, the simplicity of the same models and their respective validation.

The models obtained for the different components presented  $R^2$  adjusted over than 58.69, standard error of estimation less than 0.6833 and the validation gave accuracies between 84% and 96%.

Finally, the obtained models were adequated for estimating the dry and green biomass in the conditions of the zone where the study was developed.

## I. INTRODUCCIÓN

Los bosques naturales tienen gran importancia para quienes los requieren como fuentes primarias de madera y carbón. Más de dos terceras partes de quienes viven en el tercer mundo, dependen de la madera para usos domésticos. Por otra parte, importantes grupos de comunidades rurales obtienen sus ingresos por la extracción de diversos productos originados en el bosque. Estas razones, obligan a pensar que es de fundamental importancia mantener superficies de bosques naturales, disminuyendo las presiones que soportan estos bosques, que son base de la integridad ecológica de importantes zonas del mundo y de nuestro país.

Desde el punto de vista comercial, la *Acacia caven* (espino) es considerada una de las principales especies del bosque esclerófilo que crecen en la zona mediterránea de Chile Central, desarrollándose en una formación abierta denominada espinal, donde se presenta como la especie dominante, mezclada con otras especies arbóreas o arbustivas siempre verdes y sotobosque de pastos y hierbas.

El espinal, ha sido fuertemente afectado por la acción antrópica debido a una explotación irracional del recurso, lo que ha transformado gran parte de esta asociación en áreas de cultivo o praderas (Donoso, 1982).

La especie presenta usos múltiples; su madera es pesada y dura, siendo apta para trabajos artesanales y de ebanistería, tiene propiedades dendroenergéticas excelentes, es una de las especies más reputadas para la producción de carbón (Rosende, 1990). Por otro lado, también es posible usar las flores ya que presentan aptitudes apícolas y de perfumería, mientras que los frutos y la corteza son fuentes de tanino (Olivares, 1991).

La descripción y cuantificación de la vegetación son pasos fundamentales para iniciar estudios que, con base ecológica, conduzcan a la determinación de pautas de manejo que permitan obtener de este recurso bienes tales como leña, forraje, postes, productos químicos u otros, sin que se produzca un daño, muchas veces irreparable, en la vegetación o en el suelo que la sustenta.

Este estudio pretende generar funciones de biomasa total y de los distintos componentes de esta importante especie del bosque esclerófilo, con lo que se espera, además de realizar un aporte al conocimiento de la especie, beneficiar a los propietarios de espinales, quienes podrán disponer de una herramienta que les permita hacer un mejor uso del recurso.

## **II. OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Construir y validar la función de biomasa tanto total como por componente de la especie *Acacia caven*, en la zona de Pehuenhue VII Región.

### III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

##### 3.1.1 DISTRIBUCIÓN

Es la única *Acacia* nativa, ubicada entre Atacama y Concepción, especialmente en Santiago y Provincias cercanas, en el Valle Central y faldeos de las cordilleras contiguas (Donoso, 1978).

Los espinales de *Acacia caven* en Chile cubren una superficie de 3.800.000 ha, presentando una estructura de monte bajo o matorral, característico de la sucesión post-cultural (Gajardo, 1994). Los rodales de espino son producto de una destrucción parcial o total del bosque esclerófilo dominado principalmente por *Quillaja saponaria* y *Lithraea caustica*, además constituiría el comienzo de la sucesión retrogresiva del bosque hacia la pradera (Olivares, 1983).

##### 3.1.2 BIOLOGÍA

Forma : Normalmente, bajo las condiciones en que abunda, es un arbusto pero puede llegar a ser un árbol de hasta 5 m de altura y 50 cm de diámetro. Tiene una abundante ramificación desde muy abajo en el tronco. Las ramas están cubiertas de espinas de color claro, cuando más viejas son de color café oscuro. Estas espinas corresponden a

las estípulas, es decir, se ubican en pares en la base de las hojas. Las ramas son sigzageantes y tienen marcados braquiblastos. La corteza del tronco es agrietada y de color café negruzco (Donoso, 1978).

Hojas : son caducas, bipinnadas y paripinnadas con folíolos pequeños que se unen al atardecer (Ortiz, 1966).

Inflorescencia : grupos de flores dispuestas en glómérulos. Es una especie monoica (Donoso, 1978)

Flores : hermafroditas, aparecen antes que las hojas y son las típicas de la familia, son verdosas con estambres amarillos. Al comienzo las flores son amarillo pálidas, haciéndose más intenso su color al avanzar la floración. Son muy perfumadas (Ortiz, 1966).

Frutos : es una vaina semileñosa, indehisciente, oblonga, de color negro-violáceo y lustroso (Donoso, 1978).

Semillas : son de color negro-oliváceas, duras y ovals. La germinación es epígea (Ortiz, 1966).

Propagación : en forma natural las semillas son liberadas del fruto ya sea por pisoteo de animales o porque el fruto se pudre, además el ganado doméstico tiene una acción importante como agente dispersante (Gutierrez y Armesto, 1981).

### 3.1.3 ECOLOGÍA

Plagas y Enfermedades: algunas veces es atacado por roya (hongo del orden de las Uredinales), el parásito *Psittacanthus sp.* (Quintral) y el insecto *Cathocephala sp.* (Cuncuna) (Cogollar, et al., 1983).

Regeneración : esta especie presenta recuperación, luego de sufrir un daño severo, mediante el desarrollo de yemas vegetativas latentes en una estructura leñosa en la base del tallo, llamada lignotuber o corona radical (Vita et al., 1995).

Hábitat : es una especie adaptada a periodos de sequía prolongada, por lo que puede crecer en las provincias del norte chico con muy pocas precipitaciones. Así como en terrenos más o menos erosionados, donde no alcanza grandes tamaños (Donoso, 1978).

### 3.1.4 APROVECHAMIENTO

La madera de esta especie es dura, pesada y muy consistente, de hermoso colorido y contraste entre albura y duramen, lo que la hace recomendable en labores de ebanistería y artesanía (Ortiz, 1966; Donoso, 1978). Se le destina también para postes de cerco y mangos de herramientas (Ortiz, 1966; Navas, 1976).

Sus flores poseen un excelente aroma lo que las hace útiles en fabricación de perfumes y en apicultura (Jiles, 1963; Navas, 1976). Otro uso menor sería la extracción de taninos de sus frutos (23 %) (Ortiz, 1966) y de su corteza (12%) (Rosende, 1990). También es una alternativa alimenticia en meses de escasez de forraje para ganado ovino (Ortiz, 1966; Vita, 1986).

Sin embargo, su explotación más corriente es en la producción de leña y carbón, en la que resulta la especie más adecuada de la formación esclerófila, ya que es la que concentra el mayor porcentaje de su biomasa en las ramas gruesas (Ortiz, 1966; Prado et al. 1988). Además su carbón es considerado de muy buena calidad, ya que es un carbón denso, con poco cisco, tiene una combustión lenta y un buen rescoldo (Rosende, 1990).

En las praderas naturales con presencia del espino existe una producción vegetal mayor y una mejor composición botánica de plantas forrajeras. El espino crea bajo su copa las condiciones más apropiadas para el desarrollo de especies forrajeras seleccionadas por las ovejas (Olivares, 1991).

### **3.2 BIOMASA**

Tradicionalmente se consideraba que la porción comercializable del árbol era su fuste y el manejo de los bosques estaba orientado a la producción de trozas. Sin embargo, la intensidad del aprovechamiento forestal se ha incrementado en los últimos tiempos. Es así, como actualmente ramas, hojas, frutos, corteza también se consideran comerciables (Kannegiesser, 1987). Este cambio en los patrones de utilización ha creado la necesidad de expresar la información obtenida del bosque en unidades de peso.

La productividad se prefiere cuantificar entonces, mediante la determinación de incrementos en la biomasa de individuos y/o bosques. Este último término define a la masa o peso de materia viva seca de uno o varios organismos presentes en un sistema biológico en una superficie dada. En este caso corresponde a la materia orgánica viva acumulada en árboles y arbustos (Newbould, 1969; Pardé, 1980). En un sentido más amplio, la biomasa forestal o fitomasa corresponde a la masa de los árboles de un bosque, la que puede ser expresada invariablemente como el volumen (bruto o neto, total o comercial), o peso

(verde o seco) de los árboles o de sus componentes. Su estimación se realiza utilizando el inventario del bosque, la aplicación de tablas de biomasa por clase diamétrica o ecuaciones predictoras (Cunia, 1986).

Se debe tener en cuenta que la productividad neta de un ecosistema es un concepto teórico que no considera las pérdidas ocasionadas por herbívoros, insectos, pudrición y otros y, por lo tanto, sobrestima el material orgánico que se almacena en un período determinado (Evans, 1974).

### **3.2.1 APLICACIÓN EN ECOSISTEMAS FORESTALES**

La estimación de biomasa y su relación con las distintas fases de desarrollo de los bosques otorga antecedentes de la estructura, del funcionamiento y del potencial productivo de un sitio forestal. Estos aspectos son básicos para orientar las posibles intervenciones silvícolas (Klagges, 1976 citado por Gómez, 1976). A pesar de las dificultades técnicas propias de su determinación, el uso de la biomasa como indicador de la productividad, se extiende rápidamente, puesto que presenta una serie de ventajas que lo ameritan con respecto a otros.

Según Pedrasa (1989) su utilización permite:

- Determinar la distribución espacial de la materia orgánica en un sistema, lo que ayuda a obtener una mayor comprensión del ecosistema forestal y permite evaluar los efectos de una cosecha respecto al equilibrio mineral en el ecosistema.
  
- Catalogar en forma de inventario, la cantidad de materia seca disponible en un momento y ambiente dado.

- Facilitar la medición de cantidades reales y potenciales de variados productos (madera, frutos, hojas, corteza y otros).

- Estimar la cantidad de combustible presente en época de incendio.

- Determinar eficiencias del rodal para coleccionar y acumular energía solar, en las relaciones suelo-agua-planta y en el balance de nutrientes del sitio.

La información respecto a la cantidad de materia seca y su disposición en los distintos componentes del árbol es esencial para desarrollar modelos de estructura del bosque y su función, tanto como para los bosques naturales como en estado perturbado (Beets, 1980 citado por Magni, 1995).

El conocimiento del contenido de biomasa de un bosque, otorga una base útil para la planificación de la producción, dando valores de magnitudes, calidades y distribución de los productos del bosque, tales como: madera para fibra y combustible, los cuales no se encuentran en las tablas de rodal tradicional (Schmidt y Caldentey, 1994).

Los estudios de biomasa a escala mundial son abundantes, se inician mayoritariamente a partir de la década de los años setenta. Se han originado principalmente como base para la estimación de la productividad primaria de bosques de coníferas y latifoliadas en estado natural o plantaciones. Así se han llegado a determinar rangos de biomasa para diferentes tipos de bosques, y dentro de ellos en un amplio número de especies. Whittaker (1975), entrega valores de materia orgánica total, para bosques lluviosos, que oscilan entre 60 y 800 ton/ha; bosques templados siempre verdes, de 60 a 2.000 ton/ha; bosques boreales entre 60 y 400 ton/ha; y bosques caducifolios, entre 60 y 600 ton/ha. (Rodin y Bazilevich, 1967) por su parte, restringen tales montos para bosques deciduos a valores entre 100 y 500 ton/ha.

La biomasa de la mayoría de los componentes de los árboles aumenta con la edad del rodal. No así, la biomasa foliar, la cual según Satoo (1970), sería independiente de la edad del rodal. Ésta se estabiliza en un momento del tiempo y su monto varía más bien con la calidad del sitio y con la especie, así los bosques perennifolios presentan mayores valores que los caducifolios.

La contribución porcentual de los diferentes componentes (fuste, ramas, hojas y raíces) en la biomasa total de un árbol varía considerablemente dependiendo de la especie, edad, sitio y tratamiento silvicultural (Pardé, 1980). El componente de un árbol que tiene mayor incidencia en la biomasa total es el fuste, aportando entre 55 - 70% (Kruussela y Nyyssönen, 1981; Gómez, 1976; Alemdag, 1980). Las ramas, hojas y corteza representan individualmente, sólo pequeños porcentajes del total (10 - 37%, 3%, 5 - 16%, respectivamente) (Kannegiesser, 1987).

### **3.2.2 ESTUDIOS DE BIOMASA EN *Acacia caven***

Diversos investigadores han estudiado el crecimiento, la acumulación de biomasa y la productividad del espino. Se han determinado valores a nivel de la totalidad de los árboles y en forma separada para cada componente aéreo de éste. Estos estudios se han dirigido preferentemente a la determinación de tasas productivas de leña y carbón y a la confección de tablas para estimar montos a partir de variables morfológicas de los árboles.

El cuadro 1 presenta un resumen con diferentes trabajos realizados en Chile sobre esta especie, las funciones obtenidas por estos autores se presentan en el anexo 1.

**Cuadro 1.** Funciones de biomasa para espino realizadas en el país.

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	VARIABLE PREDICTIVA	R <sup>2</sup> AJUSTADO PST	N
Oyarzún y Palavicino	1984	Provincia de Choapa IV Reg.	DB-DC-HT-AC	0,99	18
Prado et al.	1988	Provincia del Limarí IV Reg.	DB-HT-HMF-NR-LXR-DMEC-DMAC	0,96	40

Donde:

DC	: Diámetro de copa	DB	: Diámetro basal
AC	: Área de copa	HT	: Altura total
LXR	: Largo promedio de ramas	NR	: Número de retoños
DMAC	: Diámetro mayor de copa	HMF	: Altura de máximo follaje
PST	: Peso seco total	DMEC	: Diámetro menor de copa

El presente estudio se origina del Proyecto FIA-N°C-96-1-S-007 denominado “Domesticación de Especies Nativas Ornamentales de Potencial Uso Industrial” ejecutado por la Universidad de Talca. Parte de esta investigación fue realizada en Penciahue, zona que carece de funciones de biomasa para la especie.

El proyecto presentaba entre sus objetivos la producción de flores de espino para la extracción de aceites esenciales factibles de utilizar en la industria cosmética. Pero se descartó esta posibilidad, ya que la muy baja concentración de principios activos encontradas en las flores y la dificultad de cosecha de las mismas por causa de las espinas, hace impracticable esta alternativa de aprovechamiento.

### 3.2.3 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA

Pardé (1980), describe gran parte de los métodos utilizados en los estudios de biomasa, tales como:

- a) El **Método de cosecha** es una técnica directa, que se basa en la cosecha del material vegetal y posterior medición del peso o volumen de éste. Método tradicionalmente engorroso y muy costoso, además de ser incompatible con el ambiente (Pedrasa, 1989; Bown, 1992), lo que hace necesario aplicar técnicas de tipo indirecto.
- b) Dentro de las técnicas indirectas la más usada es: el **Método del árbol medio**, se basa en la selección del árbol que tiene dimensiones medias, representativas a nivel agregado del rodal, las que son interpretadas a través de parámetros, tales como el DAP, el área basal y la altura media. En este ejemplar se determina la biomasa, la que finalmente es proyectada a todo el rodal. La gran dificultad que nace de la utilización de este método es que los árboles promedios para una característica determinada, no necesariamente son promedio para otras (Madgwick, 1973; Pardé, 1980). Este sirve más bien, para evaluar la biomasa dentro del árbol y para estimar su producción anual (Teller, 1988). La mayor aplicabilidad de este método es en plantaciones, debido a que los árboles poseen una relativa uniformidad de tamaños y de edad (Applegate *et al.*, 1988).
- c) Otro método ampliamente utilizado y recomendado por la literatura es el **Alométrico o Regresional**, el cual, consiste en voltear árboles pertenecientes a diferentes clases de DAP u otra variable de estado del árbol, para extraer submuestras y/o pesar directamente en terreno. Las submuestras son secadas y pesadas en laboratorio y se proyectan estos valores sobre los árboles volteados. Sobre la base de los árboles muestra se determinan funciones empíricas de biomasa, las que se aplican a cada uno

de los árboles del rodal. La biomasa total por unidad de superficie se obtiene como la suma de la biomasa de los árboles individuales (Pardé, 1980; Teller, 1988).

Según Bown (1992), el muestreo regresional es un método que normalmente utiliza ecuaciones alométricas para predecir la biomasa total y de los componentes de los árboles. Generalmente estas son funciones del tipo doble logarítmicas que presentan, al DAP como la única variable predictora y tienen gran flexibilidad.

Este método, es preciso en la estimación de la biomasa total del rodal, además, es fácil de aplicar debido al uso de regresiones predictoras (Apleggate *et al.*, 1988; Teller, 1988).

El punto más determinante en la construcción de las ecuaciones predictivas de los componentes de la biomasa, es indudablemente la correcta determinación de la masa seca. Considerando los aspectos técnicos y económicos, en la literatura se señala que la masa seca o anhidra de cada componente del árbol se estima usando razones o relaciones de masa seca / masa verde, consiguiéndose éstas mediante la extracción de submuestras. Estas consisten en discos o rodajas de madera, de poco espesor, tanto para la estimación de componentes fustales como de ramas, obtenidos a diferentes alturas del árbol.

Según Lineros (1986) y Ker (1980), en la variabilidad del muestreo influyen un gran número de factores, tales como el método de selección de árboles muestra, tamaño de la muestra, método de submuestreo usado para estimar masa seca de cada componente, exactitud y precisión de los instrumentos de terreno y laboratorio, preparación y experiencia del personal, naturaleza de los modelos estadísticos usados y factores biológicos y ecológicos.

### 3.3 SUPUESTOS DEL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS

El modelo de regresión, conocido también como modelo de Gauss, o modelo clásico, estándar o lineal general, está basado en varios supuestos, los cuales serán probados en los modelos de biomasa y que se muestran a continuación (Gujarati, 1997).

- 1.- Normalidad en la distribución de las perturbaciones.
- 2.- Homocedasticidad o igual varianza entre las perturbaciones.
- 3.- No multicolinealidad entre las variables explicativas.

#### 3.3.1 NORMALIDAD

El modelo de regresión lineal supone que cada perturbación o error está distribuido normalmente con un valor esperado igual a cero.

La normalidad de las observaciones es uno de los supuestos usualmente comprobados en los análisis estadísticos y las pruebas más simples son aquellas que consideran un análisis gráfico, ya sea a través de histogramas o mediante el estudio de la función de distribución acumulada (Cid *et al.*, 1990). Pero, además, existen variadas pruebas estadísticas, todas ellas suponen distribuciones independientes para las variables aleatorias; una de ellas es el test de Shapiro-Wilks ( $w$ ), el que proporciona una medida de la linealidad de la recta generada al graficar la función de distribución acumulada sobre papel de probabilidades (Cid *et al.*, 1990).

### 3.3.2 HOMOCEASTICIDAD

Uno de los supuestos importantes del modelo clásico de regresión lineal es que los errores son homocedásticos, es decir, que todos tienen similar varianza ( $\sigma^2$ ). Si lo anterior no se cumple, se presenta el fenómeno de heterocedasticidad, así los estimadores no son de varianza mínima, dejando de ser eficientes.

Si se hace la estimación permitiendo heterocedasticidad no se pueden establecer intervalos de confianza y pruebas de hipótesis utilizando las pruebas t y F, ya que los intervalos serán mayores y las pruebas t y F producirán resultados inexactos debido a que la varianza es excesivamente grande (Gujarati, 1997).

Para su detección se han creado algunos métodos informales y de aproximación, los cuales generalmente examinan gráficamente los residuos obtenidos para buscar en ellos patrones sistemáticos. Además, existe una prueba denominada test de Bartlett, el cual detecta la presencia o ausencia de heterocedasticidad y si ésta es significativa.

Si se presenta heterocedasticidad un método para resolver el problema consiste en utilizar la técnica de mínimos cuadrados ponderados, la cual minimiza las perturbaciones con valores externos ponderándolas en proporción inversa a sus varianzas. Otra manera de solucionar este problema es a través de transformaciones logarítmicas, esta técnica comprime las escalas en las que se miden las variables.

### 3.3.3 MULTICOLINEALIDAD

Para Frisch (1934) citado por Gujarati (1997) “multicolinealidad” significa la existencia de una relación perfecta o exacta entre algunas o todas las variables explicativas de un modelo de regresión.

Consecuencias prácticas de la multicolinealidad:

- 1.- Los estimadores de mínimos cuadrados presentan varianzas y covarianzas grandes, que hacen difícil la estimación precisa.
- 2.- La razón t y F de uno o más coeficientes tiende a ser estadísticamente no significativo.
- 3.- A pesar de que la razón t de uno o más coeficiente sea estadísticamente no significativo, el  $R^2$  puede ser muy alto.
- 4.- Los estimadores de mínimos cuadrados y sus errores estándar pueden ser sensibles a pequeños cambios en la información.

El signo más claro de la existencia de multicolinealidad, mencionado por Gujarati (1997), es un coeficiente de determinación muy alto, pero ninguno de los coeficientes de regresión es estadísticamente significativo, considerando la prueba t. Otra manera de analizar esta situación es a través de la matriz de correlación la cual muestra el grado de correlación entre las variables independientes presentes en el modelo.

Achen (1982), citado por Gujarati (1997), menciona que aunque se presente este problema no se violan los supuestos básicos de regresión como el de la consistencia e

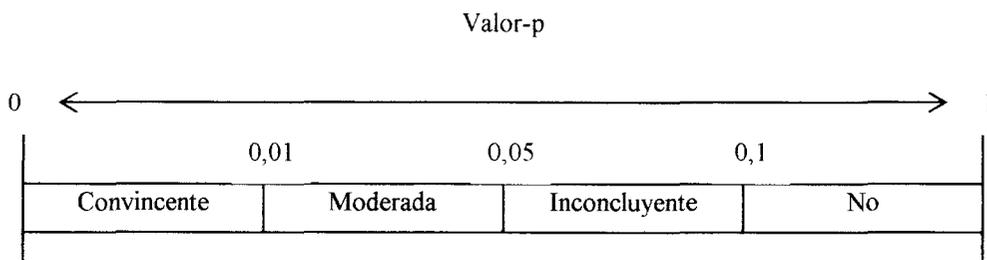
inesgamiento, el único efecto de la multicolinealidad tiene que ver con la dificultad de obtener estimaciones de los coeficientes con pequeños errores estándar.

Se plantea que es un problema de grado y no de tipo, es decir, la significancia no es entre la presencia o ausencia de ésta, sino entre sus diferentes grados y magnitudes, además, es una característica de la muestra y no de la población.

### 3.4 SELECCIÓN DEL VALOR-P

El valor-p conocido como el valor de probabilidad o como el nivel observado exacto de significancia, señala el nivel de significancia más bajo al cual puede rechazarse una hipótesis nula (Gujarati, 1997).

La evidencia con que se rechaza la hipótesis nula presenta distintos niveles de confianza (Ramsey y Shafer, 1997, citado por Vargas, 1999).



**Figura 1.** Evidencia con que se rechaza la hipótesis nula.

La figura 1 se define como:

Rango del valor-p (0 - 1)	Fuerza de la evidencia en contra de $H_0$
0 - 0,01	: Evidencia convincente
0,01- 0,05	: Evidencia moderada
0,05-0,1	: Evidencia débil o inconcluyente
0,1 - 1	: No existe evidencia suficiente para rechazar $H_0$

**Fuente:** Ramsey y Schafer, 1997, citado por Vargas, 1999.

### 3.5 VALIDACIÓN

Según Reynolds (1984), el proceso de validación se debe desarrollar para determinar si la realidad está bien representada por el modelo propuesto. Lo más recomendable es realizar la validación independiente, es decir, validar utilizando información que no fue ocupada en el proceso de construcción del modelo.

Uno de los métodos usados para validar es el procedimiento descrito por Vallejos (1979), el cual es una extensión del *test* de Freese, la modificación consiste en expresar el error admisible en términos porcentuales.

En el proceso de validación, indica Vallejos (1979), lo primero es determinar la naturaleza del sesgo, para ello se debe determinar mediante una prueba t-Student la significancia estadística tanto de la constante como de la pendiente de la regresión entre los valores estimados y los valores reales. Dependiendo de los resultados obtenidos, las variaciones del sesgo que pueden manifestarse son de cuatro tipos, las cuales se visualizan en la figura 2.

La representación matemática del sesgo requiere ajustar los valores de estimación sobre los observados, ajustándose un modelo rectilíneo hipotético del tipo:

$$Y = a + b \cdot X$$

Donde:

Y : valor estimado.

a : intercepto de la recta sobre la ordenada.

b : pendiente de la recta.

X : valor observado.

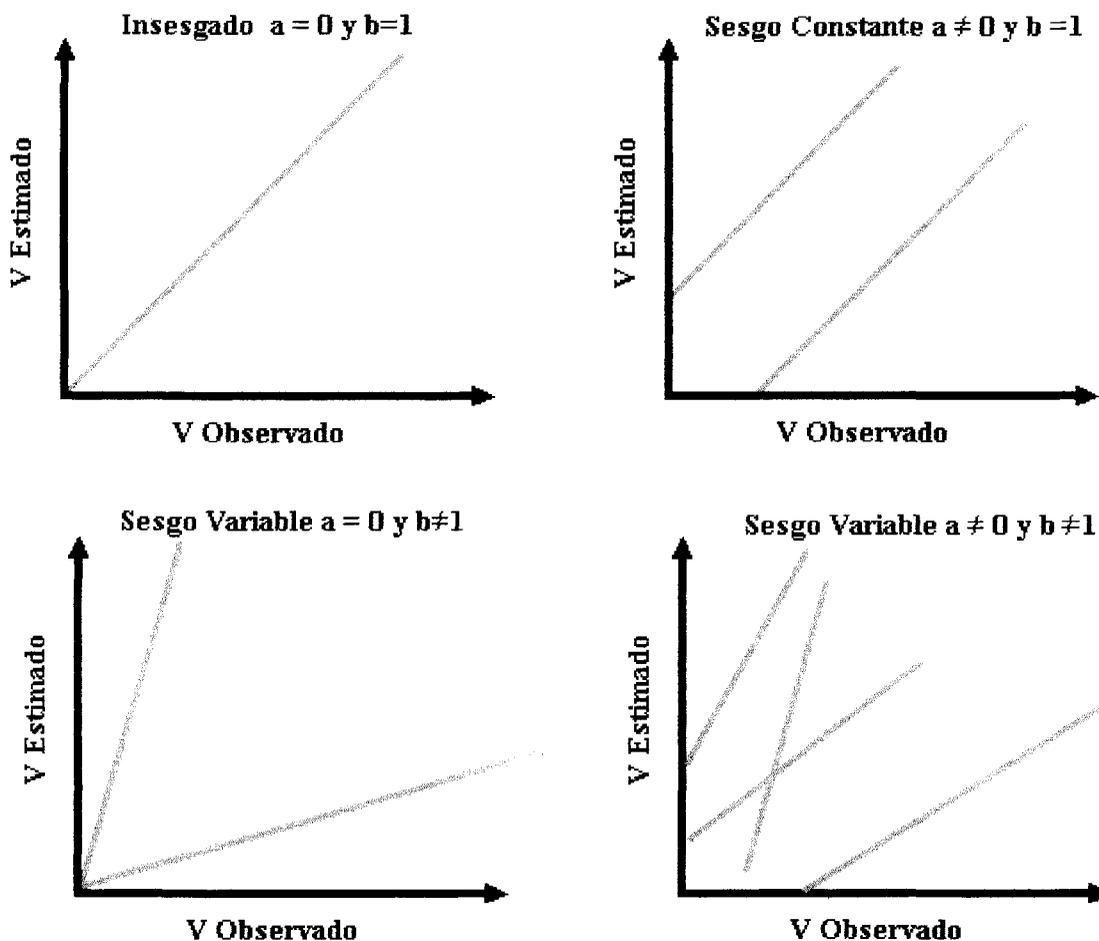


Figura 2. Tipos de sesgos en las funciones de biomasa.

Determinado el tipo de sesgo que presenta el modelo, corresponde aplicar el test de Freese, para evaluar la exactitud del modelo y éste consiste en una prueba  $\chi^2$ , que se presenta en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Evaluación de la exactitud de la estimación de la función de Biomasa.

Tipo de sesgo	Fórmula a utilizar
Estimación insesgada	$\chi^2 = \left(\frac{196}{p}\right)^2 * \sum_{i=1}^n \left(\frac{e_i}{o_i} - 1\right)^2$ <p>Con n grados de libertad</p>
Estimación con sesgo constante	$\chi^2 = \sum_{i=1}^n j_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n j_i\right)^2}{n}$ <p>Con n-1 grados de libertad</p>
Estimación con sesgo variable	$\chi^2 = \left[ \sum_{i=1}^n j_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n j_i\right)^2}{n} \right] - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (j_i * i_i) - \frac{\left(\sum_{i=1}^n j_i\right) * \left(\sum_{i=1}^n i_i\right)}{n} \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n i_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n i_i\right)^2}{n} \right]}$ <p>Con n-2 grados de libertad</p>

**Fuente:** Vallejos, 1979.

Donde:

- $e_i$  : Valor estimado de la i-ésima observación  
 $o_i$  : Valor observado de la i-ésima observación  

$p$  : Valor del error admisible en porcentaje

196 : Valor constante, que se deriva del valor de la desviación normal a una probabilidad del 5% a dos colas, amplificado por 100, para introducir el valor “p” en porcentaje.

$$j_i = \frac{e_i}{\frac{p}{196} * o_i} \quad i_i = \frac{1}{o_i}$$

El modelo proporciona la exactitud requerida cuando el valor calculado es menor que el valor tabulado de la tabla  $\chi^2$  para los respectivos grados de libertad.

Si se presenta sesgo significativo, éste puede corregirse mediante un modelo de predicción inversa (Ostle, 1973 citado por Vallejos, 1979) del tipo:

$$V \text{ Observado} = \frac{V \text{ Estimado} - a}{b}$$

Donde :

V Observado : Valor observado.

V Estimado : Valor estimado.

a y b : Intercepto y pendiente de la regresión de validación.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 MATERIALES

#### a. Vehículo

#### b. Instrumentos de medición

Diámetro : Huincha Diamétrica.

Altura : Hipsómetro

Peso : Balanza de precisión marca Ultra X  $\pm 0,001$

Balanza granatarea marca Truinfo, capacidad 20 Kg  $\pm 100$  gr.

Estufa de secado marca Memmert (0°- 200° C).

2 reglas plásticas de 60 cm.

#### d. Equipos y herramientas

1 motosierra.

1 serrucho cola de zorro.

Bolsas y sacos plásticos.

Cinta adhesiva.

Tijera podadora.

Hacha.

Cooler.

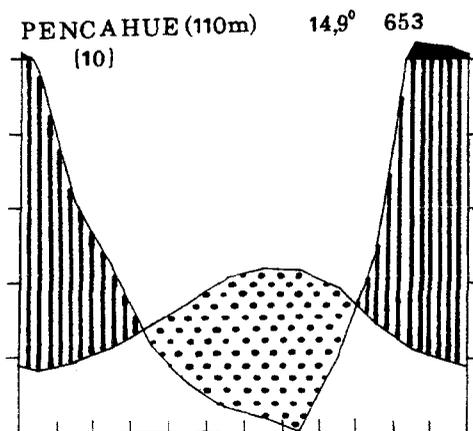
## 4.2 LUGAR DE ESTUDIO

### 4.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ADMINISTRATIVA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se desarrolló en el valle de Pencahue, ubicado en la VII región, en el fundo “Poco a Poco” a 31 Km de Talca (sector El Estero). Su acceso es el camino a Corinto, antigua ruta Los Conquistadores.

### 4.2.2 CLIMA

El sector de Pencahue presenta un clima mediterráneo típico, como lo indica el diagrama ombrotérmico (figura 3) con un período de sequía estival muy marcado de 6 meses de duración. La temperatura media del mes más cálido alcanza los 21,8 °C, mientras que en el mes más frío baja a los 8,3°C.



**Figura 3.** Diagrama ombrotérmico.  
**Fuente:** Proyecto FIA N°C- 96-1-S-007, 2000.

### 4.2.3 SUELO

En el cuadro 3 se indica la dotación mineral hasta los 50 cm de profundidad de un suelo característico.

**Cuadro 3.** Contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y pH.

Suelo	MO (Kg/m <sup>2</sup> )	N (g/m <sup>2</sup> )	P (g/m <sup>2</sup> )	K (g/m <sup>2</sup> )	pH
Pencahue (pardo)	12,11	8,24	4,81	76,13	6,27

**Fuente:** Proyecto FIA N°C- 96-1-S-007, 2000.

Es un suelo pardo, que se caracteriza por presentar una baja dotación de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno (Proyecto FIA N°C- 96-1-S-007, 2000).

### 4.2.4 ANTECEDENTES VEGETACIONALES

El espino es el principal componente del matorral espinoso del secano interior, dominando el paisaje, acompañado de *Berberis darwinii*, *Lithraea caustica* y *Peumus boldus*. Esta comunidad se caracteriza por la presencia de arbustos altos, casi arbóreos, de espino. Debajo de estos se desarrolla una pradera con gran diversidad de especies (Gajardo, 1994).

### **4.3 MÉTODO**

El muestreo en terreno fue realizado entre los meses de septiembre de 1997 y mayo de 1998, con el fin de lograr el objetivo propuesto, se utilizó la metodología de trabajo que se presenta en los siguientes puntos.

Para estimar la biomasa de los árboles, se efectuó un muestreo destructivo, empleando una muestra de 40 individuos, 35 de los cuales fueron utilizados en la construcción de funciones y el resto en la validación de las mismas.

#### **4.3.1 SELECCIÓN DE LOS ÁRBOLES MUESTRA**

De acuerdo con la bibliografía existente, las variables del árbol que pueden ser utilizadas como variables explicativas en los modelos de regresión para estimar biomasa son:

- Diámetro mayor de copa (DMAC) (m)
- Diámetro menor de copa (DMEC) (m)
- Altura total (HT) (m)
- Altura de máximo follaje (HMF) (m)
- Número de retoños mayores de 1 cm de diámetro (NR)
- Diámetro a la altura del tocón, promedio (en los casos en que se presentó más de un vástago) (DAT) (cm)

Varios autores señalan, entre ellos Prado *et al.* (1988), que para el caso del espino las variables que mejor se relacionan con la biomasa del árbol son los diámetros de copas y el diámetro a la altura del tocón.

Para seleccionar los árboles a voltear se realizó un muestreo (30 árboles), donde se prospectó la población y se determinó la dispersión de las variables DMAC y DAT, de tal forma que la elección posterior de los 40 árboles seleccionados consideró individuos de los diferentes tamaños presentes en la población, los que luego fueron asignadas en forma equitativa en las distintas clases diamétricas existentes.

#### **4.3.2 DETERMINACIÓN DE PESOS VERDES Y SECOS DE LAS MUESTRAS**

La obtención de los pesos verdes y secos se realizó en etapas, es importante destacar que para el muestreo de los componentes dentro de cada árbol, éste se dividió por exposición (Norte, Sur, Este y Oeste).

##### ETAPA I

Una vez ocurrida la floración se realizó el proceso de pesaje del material cosechado de las flores, la determinación de los pesos verdes se realizó en el laboratorio de Tecnología e Industria de la Madera de la Universidad de Talca (a 30 minutos del lugar en estudio).

De cada árbol se extrajeron 5 ramillas con flores por exposición. Estas fueron identificadas y guardadas en bolsas plásticas dentro de un *cooler*, material que fue llevado al laboratorio para ser pesado en la balanza de precisión.

Este pesaje se realizó separando cada flor de su respectiva ramilla y efectuando el pesaje de ambos componentes. Posteriormente fueron guardados en bolsas de papel con su respectiva identificación (componente, árbol y exposición) y llevados a secar a 100°C hasta obtener peso constante.

## ETAPA II

En esta etapa se pesaron las hojas, recolectadas de los 40 árboles. Se extrajeron 5 ramillas con hoja por exposición en cada árbol, al igual que en el caso anterior el material fue guardado en bolsas de plástico debidamente rotuladas, luego se transportaron en un *cooler* al laboratorio. Allí se separaron las hojas de las ramillas, para su pesaje independiente. Luego se guardaron en bolsas de papel y se secaron en estufa a 100°C hasta llegar a peso constante.

## ETAPA III

La tercera etapa se realizó en marzo de 1998 cuando los árboles estaban con frutos. En primer lugar se obtuvo una muestra de tres frutos por exposición de cada árbol. El pesaje de todos los frutos se efectuó en terreno con una balanza Granatarea (reloj). La muestra de 3 frutos por exposición se pesó en laboratorio y luego fueron envasadas en bolsas de papel rotuladas para así, ser secadas a 100°C hasta llegar a peso constante.

## ETAPA IV

La última etapa consistió en el volteo de los árboles. Previo a esto, se extrajeron las muestras de corteza de ramas y ramillas obteniéndose 5 rodela de cada componente por

exposición. Este material fue rotulado, guardado en bolsas de plástico e introducido en un *cooler* para ser llevados al laboratorio, donde fueron descortezados y pesados en la balanza de precisión (parte del material de ramas fue pesado en verde y descortezado en terreno), posteriormente se guardó en bolsas de papel.

Luego se procedió al volteo de los árboles, separando minuciosamente ramas de ramillas.

Se consideraron ramillas, a las ramas secundarias con diámetros inferiores a 1cm; y ramas, a las ramas principales y secundarias con un diámetro mayor a 1 cm y la sección del tronco del árbol entre los 3 y 1 cm de diámetro con corteza. Luego de rotulado cada componente, se pesó en terreno en una balanza Granatarea.

El fuste correspondió al tronco principal y sus ramificaciones hasta un diámetro de 3 cm con corteza. Éste fue dividido en 3 secciones (superior, medio e inferior), de ellas se obtuvieron 5 discos de 5 cm de espesor. A cada disco se le extrajo la corteza; tanto el disco sin corteza como su corteza fueron pesados en terreno. Cada uno de estos componentes fue debidamente rotulados.

Todas estas muestras fueron llevadas a laboratorio, se les determinó el peso seco, después de someterlas a un proceso de secado a una temperatura de 100° C, hasta la obtención de peso constante.

En el apéndice 1 se presentan las figuras 4 a 18, como una referencia gráfica de los procesos descritos en los párrafos precedentes.

### 4.3.3 ESTIMACIÓN DE LA MASA VERDE Y SECA DE CADA COMPONENTE

La biomasa verde total de cada componente se estimó a través de las relaciones descritas en el cuadro 4; mientras que la biomasa seca total de cada componente se estimó a través de las relaciones descritas en el cuadro 5.

**Cuadro 4.** Fórmulas para la estimación del peso verde total de cada componente.

Componente	Pesos Verde
Flor (1)	$\frac{PV_{\text{flores (m)}}}{PV_{\text{ramillas c flores + hojas (m)}}} \times PV_{\text{ramillas totales c/hojas (que tenían flores)}}$
Hojas (2)	$\frac{PV_{\text{hojas (m)}}}{PV_{\text{ramillas c hojas (m)}}} \times PV_{\text{ramillas totales c/hojas}}$
Frutos (3)	$\frac{PV_{\text{frutos (m)}}}{PV_{\text{ramillas c frutos + hojas (m)}}} \times PV_{\text{ramillas totales c/frutos + hojas}}$
Ramillas (4) Ramillas con frutos totales	Se midieron directamente.
Ramas Totales (5)	Se midieron directamente.
Fuste (6)	Se midieron directamente.
Corteza (7)	
ramillas	$\frac{PV_{\text{corteza de ramillas (m)}}}{PV_{\text{ramillas c corteza (m)}}} \times PV_{\text{ramillas c/corteza totales}}$
ramas	$\frac{PV_{\text{corteza de ramas (m)}}}{PV_{\text{ramas c corteza (m)}}} \times PV_{\text{ramas c/corteza totales}}$
fuste	$\frac{PV_{\text{corteza de fuste (m)}}}{PV_{\text{fuste c corteza (m)}}} \times PV_{\text{fuste c/corteza total}}$
Biomasa total	$\sum_{i=1}^7 \text{Componente}_i$

(m): muestra.

**Cuadro 5.** Fórmulas para la estimación del peso seco total de cada componente.

Componente	Pesos Seco
Flor (1)	$\frac{PS_{\text{flores (m)}}}{PV_{\text{flores (m)}}} \times PV_{\text{flores total}}$
Hojas (2)	$\frac{PS_{\text{hojas (m)}}}{PV_{\text{hojas (m)}}} \times PV_{\text{hojas total}}$
Frutos (3)	$\frac{PS_{\text{frutos (m)}}}{PV_{\text{frutos (m)}}} \times PV_{\text{frutos total}}$
Ramillas (4)	$\frac{PS_{\text{ramillas (m)}}}{PV_{\text{ramillas (m)}}} \times PV_{\text{ramillas total}}$
Ramas Totales (5)	$\frac{PS_{\text{ramas (m)}}}{PV_{\text{ramas (m)}}} \times PV_{\text{ramas total}}$
Fuste (6)	$\frac{PS_{\text{fuste (m)}}}{PV_{\text{fuste (m)}}} \times PV_{\text{fuste total}}$
Corteza (7)	
ramillas	$\frac{PS_{\text{corteza ramillas (m)}}}{PV_{\text{corteza ramillas (m)}}} \times PV_{\text{corteza ramillas total}}$
ramas	$\frac{PS_{\text{corteza ramas (m)}}}{PV_{\text{corteza ramas (m)}}} \times PV_{\text{corteza ramas total}}$
fuste	$\frac{PS_{\text{corteza fuste (m)}}}{PV_{\text{corteza fuste (m)}}} \times PV_{\text{corteza fuste total}}$
Biomasa total	$\sum_{i=1}^7 \text{Componente}_i$

#### 4.3.4 AJUSTE DE MODELOS DE BIOMASA

En primer lugar se graficó la biomasa en función de cada variable predictora con el propósito de determinar posibles relaciones entre ellas, adicionalmente, se obtuvo una matriz de correlación. Estas herramientas, indicaron cual de las variables explicativas o transformaciones de ellas tienen una mayor correlación con los pesos seco y verde total y

por componentes, para preseleccionar las variables o transformaciones de ellas con coeficientes de correlación más altos.

Como complemento se utilizó el procedimiento *step wise*, a partir de las variables que se preseleccionaron en forma gráfica y numérica se ingresaron en orden de importancia a este proceso y además se transformaron de acuerdo con la tendencia de la nube de puntos.

Posteriormente fue necesario verificar para cada modelo el cumplimiento de los supuestos del método de los mínimos cuadrados, como se menciona en el capítulo 3.3 de revisión bibliográfica. Además, se probó la significancia de los coeficientes de los modelos usando el valor t-particular y el F-global.

#### **4.3.5 VALIDACIÓN DE LAS FUNCIONES**

Para validar las funciones se utilizaron los valores de biomasa provenientes de cinco árboles no considerados en la construcción de éstas, con el propósito de determinar si los modelos propuestos representan adecuadamente la realidad.

A través de la prueba de Fresse se probó si los modelos presentaban algún tipo de sesgo en relación con la biomasa real y el nivel de exactitud se determinó mediante la prueba de Vallejos definida por la prueba  $\chi^2$ , la que indica el porcentaje de exactitud logrado.

## V. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 PORCENTAJES DE PESOS VERDE Y SECO

Comparando los porcentajes que se presentan en el cuadro 6 con los señalados en la revisión bibliográfica podemos confirmar lo expuesto por Kruussela y Nyysönen (1981), entre otros autores, que dicen que es el fuste el componente que tiene mayor incidencia en la biomasa total del árbol. Las hojas hacen el menor aporte a la biomasa total, mientras que la corteza aporta un valor cercano al 30 %.

Un 30% de corteza podría parecer exagerado, pero se debe considerar que en este estudio se incluyó la corteza de fuste, ramas y ramillas como corteza total, además se debe tener presente las características propias de la corteza y el hábito de la especie.

**Cuadro 6.** Porcentaje de peso verde y seco de cada componente sobre el peso total.

Estado	Hojas	Ramillas	Ramas	Fuste	Corteza
V	4,97	15,99	13,56	38,26	27,22
S	4,37	14,97	13,11	39,44	28,11

Así mismo es importante señalar que el porcentaje que entregan las flores y frutos en esta situación en particular fue mínimo, ya que de los 40 árboles muestreados sólo 18 florecieron y nueve de éstos presentaron frutos. Esta escasez de datos impidió la creación de funciones de biomasa para estos componentes. Esto pudo deberse a las condiciones climáticas del año en que se realizó el muestreo (1997), sumado a una característica particular de los árboles muestreados, como longevidad de algunos por ejemplo.

Por lo tanto, si fuese de interés particular crear una función para cuantificar la biomasa de flores y frutos, estos componentes debieran ser estudiados en más de una temporada y en individuos que se encuentran en edad de fructificación.

## 5.2. AJUSTE DE MODELOS

Como resultado de los análisis de la matriz de correlación y del proceso *step wise* se determinaron los modelos. Las variables explicativas que mayor correlación presentaron entre los pesos seco y verde son: el diámetro mayor y menor de copa (DMAC y DMEC) y el diámetro promedio a la altura del tocón (DAT) y transformaciones de éstas. De la misma forma se descartan las demás variables explicativas debido a su baja correlación con los respectivos pesos secos y verdes.

Luego de creada una serie de funciones para cada componente, se eligieron las de mayor coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{\text{ajustado}}$ ) y menor error estándar de estimación (EEE). Además, se privilegió la simpleza del modelo, por lo que se usó la menor cantidad de variables explicativas posibles en la construcción de cada uno de los mismos. Los resultados del proceso se presentan en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Funciones de biomasa obtenidas para cada componente.

COMPONENTE	ESTADO	FUNCIÓN	R <sup>2</sup> <sub>ajustado</sub>	EEE
Hojas	V	$LnY = 2,12929 + 2,67508\sqrt{DMAC}$	64,83	0,6437
	S	$LnY = 1,71463 + 2,53736\sqrt{DMAC}$	58,69	0,6833
Ramillas	V	$LnY = 3,44814 + 3,07667\sqrt{DMEC}$	78,73	0,5119
	S	$LnY = 3,01571 + 3,01766\sqrt{DMEC}$	75,11	0,5385
Ramas	V	$LnY = 6,08179 + 2,27194Ln(DMEC)$	84,42	0,4068
	S	$LnY = 5,43823 + 2,33214Ln(DMEC)$	83,62	0,4226
Fuste	V	$LnY = 4,39792 + 0,621179Ln(DAT) + 1,07395Ln(DMAC^2 * HT)$	87,60	0,5009
	S	$LnY = 1,82045 + 3,04929\sqrt{DMAC} + 0,650456Ln(DAT)$	85,62	0,5092
CorFuste	V	$LnY = 1,84303 + 0,073503HT^2 + 3,10664\sqrt{DMEC}$	83,25	0,5245
	S	$LnY = 3,55302 + 1,15063Ln(DMAC^2 * HT)$	85,19	0,4720
Corteza	V	$LnY = 5,17006 + 1,08711Ln(DMAC^2 * HT)$	86,52	0,4253
	S	$LnY = 4,61541 + 1,11068Ln(DMAC^2 * HT)$	86,68	0,4284
Total	V	$LnY = 6,46956 + 0,497077DMEC + 0,6119081Ln(DMAC^2 * HT)$	89,12	0,3872
	S	$LnY = 6,01665 + 0,476105DMEC + 0,619538Ln(DMAC^2 * HT)$	87,83	0,3946

Donde :

DMAC : diámetro mayor de copa (m)

DMEC : diámetro menor de copa (m)

HT : altura total (m)

DAT : diámetro a la altura del tocón ( cm )

Cabe destacar que los modelos son válidos sólo en los rangos de las variables independientes, para ello se presentan en el cuadro 8 estadísticas básicas de las variables que fueron consideradas en las funciones de biomasa.

**Cuadro 8.** Estadísticas básicas de las variables independientes de las funciones de biomasa.

VARIABLE	UNIDAD	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
DMAC	(m)	3,4	0,9	11,9	1,76
DMEC	(m)	3,0	0,9	11,2	1,66
DAT	(cm)	6,5	3,1	19,1	4,15
HT	(m)	2,4	1,4	4,0	0,65

### 5.2.1 SIGNIFICANCIA DE LOS PARÁMETROS

Los resultados de las pruebas t y F para probar la significancia de los parámetros se presentan en el cuadro 9.

**Cuadro 9.** Pruebas t y F de significancia de los parámetros de los modelos.

COMPONENTE	ESTADO	PARÁMETRO	COEFICIENTE	EEE	T	F
Hojas	V	a	2,12929	0,5703	3,734*	69,19*
		b * $\sqrt{DMAC}$	2,67508	0,3216	8,318*	
	S	a	1,71463	0,6282	2,729**	49,31*
		b * $\sqrt{DMAC}$	2,53736	0,3613	7,022*	
Ramillas	V	a	3,44814	0,4334	7,956*	137,91*
		b * $\sqrt{DMEC}$	3,07667	0,2620	11,744*	
	S	a	3,01571	0,4799	6,284*	103,61*
		b * $\sqrt{DMEC}$	3,01766	0,2965	10,179*	
Ramas	V	a	6,08179	0,1626	37,400*	201,48*
		b * $Ln(DMEC)$	2,27194	0,1601	14,194*	
	S	a	5,43823	0,1721	31,600*	174,55*
		b * $Ln(DMEC)$	2,33214	0,1765	13,2116*	

(Continuación)

COMPONENTE	ESTADO	PARÁMETRO	COEFICIENTE	EEE	T	F
Fuste	V	a	4,39792	0,2911	15,107*	131,65*
		b * $\ln(DAT)$	0,62118	0,2430	2,556**	
		c * $\ln(DMAC^2 * HT)$	1,07400	0,1295	8,292*	
	S	a	1,82045	0,4712	3,863*	102,23*
		b * $\sqrt{DMAC}$	3,04929	0,3807	8,009*	
		c * $\ln(DAT)$	0,65046	0,2395	2,716**	
CorFuste	V	a	1,84303	0,4681	3,937*	92,95*
		b * $HT^2$	0,07350	0,0320	2,294**	
		c * $\sqrt{DMEC}$	3,10664	0,3460	8,978*	
	S	a	3,55302	0,2515	14,125*	196,56*
		b * $\ln(DMAC^2 * HT)$	1,15063	0,0821	14,020*	
Corteza	V	a	5,17006	0,2230	23,188*	238,52*
		b * $\ln(DMAC^2 * HT)$	1,08711	0,0704	15,444*	
	S	a	4,61541	0,2283	20,217*	222,34*
		b * $\ln(DMAC^2 * HT)$	1,11068	0,0745	14,911*	
Total	V	a	6,46956	0,2068	31,283*	152,49*
		b * $DMEC$	0,49708	0,1853	2,683**	
		c * $\ln(DMAC^2 * HT)$	0,61908	0,1925	3,217*	
	S	a	6,01665	0,2113	28,474	123,63*
		b * $DMEC$	0,47611	0,1952	2,439**	
		c * $\ln(DMAC^2 * HT)$	0,61954	0,1955	3,170*	

\* : altamente significativo, a un nivel de significancia de 1%.

\*\* : significativo, a un nivel de significancia de 5%.

De acuerdo con el cuadro 9 los parámetros de los modelos seleccionados son significativos, confirmándose esto con el valor t-particular y con el valor F-global.

## 5.2.2 VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DEL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS

Para la comprobación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad se utilizó la prueba ShapiroWilks y Bartlett respectivamente. En el cuadro 10 se presentan los resultados de estas pruebas.

**Cuadro 10.** Valores-p de los test Shapiro Wilks y Bartlett para probar Normalidad y Homocedasticidad.

COMPONENTE	ESTADO	MODELO	(VALOR-P) BARTLETT	(VALOR-P) SHAPIRO- WILKS
Hojas	V	$LnY = 2,12929 + 2,67508\sqrt{DMAC}$	0,7165	0,2377
	S	$LnY = 1,71463 + 2,53736\sqrt{DMAC}$	0,8677	0,4496
Ramillas	V	$LnY = 3,44814 + 3,07667\sqrt{DMEC}$	0,1167	0,1276
	S	$LnY = 3,01571 + 3,01766\sqrt{DMEC}$	0,2578	0,3877
Ramas	V	$LnY = 6,08179 + 2,27194Ln(DMEC)$	0,0672	0,3459
	S	$LnY = 5,43823 + 2,33214Ln(DMEC)$	0,2636	0,5230
Fuste	V	$LnY = 4,39792 + 0,621179Ln(DAT) + 1,07395Ln(DMAC^2 * HT)$	0,8841	0,8479
	S	$LnY = 1,82045 + 3,04929\sqrt{DMAC} + 0,650456Ln(DAT)$	0,2332	0,2088
CorFuste	V	$LnY = 1,84303 + 0,073503HT^2 + 3,10664\sqrt{DMEC}$	0,4398	0,6291
	S	$LnY = 3,55302 + 1,15063Ln(DMAC^2 * HT)$	0,6033	0,9560
Corteza	V	$LnY = 5,17006 + 1,08711Ln(DMAC^2 * HT)$	0,5776	0,1828
	S	$LnY = 4,61541 + 1,11068Ln(DMAC^2 * HT)$	0,9824	0,4276
Total	V	$LnY = 6,46956 + 0,497077DMEC + 0,6119081Ln(DMAC^2 * HT)$	0,6690	0,0689
	S	$LnY = 6,01665 + 0,476105DMEC + 0,619538Ln(DMAC^2 * HT)$	0,6740	0,2638

Todos los modelos cumplieron con el supuesto de normalidad de los residuos ya que los valores-p obtenidos en el test de Shapiro Wilks fueron mayor a 0,0689 superior al valor crítico (0,05). En el caso de la homocedasticidad de residuos se obtuvieron valores de

p para el test de Bartlett superiores a 0,0672, mayor al valor crítico (0,05). Por lo tanto, los modelos cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de residuos.

Por otro lado para detectar multicolinealidad en los modelos que presentan más de una variable predictora (fuste verde y seco; corteza de fuste verde; y total verde y seco) se recurrió a la matriz de correlación (ver apéndice 2) que indicó en los casos de total seco (0,9364) y total verde (0,9408), la existencia de multicolinealidad ya que hay una alta correlación entre las variables explicativas. A pesar de esto como lo señala Gujarati (1997), no se estarían violando los supuestos básicos de regresión, ya que las estimaciones de los coeficientes presentaron una alta significancia, por lo tanto se mantuvieron los modelos. Es necesario recordar que el problema de la multicolinealidad es de grado y no de presencia o ausencia, y en este caso las altas correlaciones no afectaron a los modelos.

### **5.3. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS**

Después de seleccionados los modelos de biomasa para los distintos componentes, se realizó la validación de los mismos, para ello se aplicaron las pruebas correspondientes: test t para determinar el tipo de sesgo y una prueba  $\chi^2$  para evaluar la exactitud.

La información que muestra el cuadro 11 indica que cuatro funciones presentaron sesgo variable (hoja seco, fuste verde, corteza fuste seco y total seco). El resto de los modelos fueron insesgados. Además, al evaluarlas con un error admisible de 20% todos resultaron exactos (cuadro 12). Por lo tanto, se corrigieron solamente los 4 modelos que presentaron sesgo variable.

**Cuadro 11.** Clasificación del sesgo de los modelos obtenidos.

MODELO	ESTADO	T-CALCULADO		TIPO DE SESGO
		(A=0)	(B=1)	
HOJA	V	2,171	-2,262	INSESGADA
	S	3,265	-3,506	SESGO VARIABLE
RAMILLA	V	-0,601	0,4483	INSESGADA
	S	-0,196	-0,0195	INSESGADA
RAMA	V	0,238	-0,373	INSESGADA
	S	0,035	-0,226	INSESGADA
FUSTE	V	4,031	-4,165	SESGO VARIABLE
	S	2,518	-2,579	INSESGADA
CORTEZA FUSTE	V	2,145	-2,363	INSESGADA
	S	5,128	-5,084	SESGO VARIABLE
CORTEZA	V	1,477	-1,592	INSESGADA
	S	-0,299	-1,393	INSESGADA
TOTAL	V	1,526	-1,796	INSESGADA
	S	2,791	-3,227	SESGO VARIABLE

$$t_{(\alpha/2;n-1)} = \pm 3,182$$

**Cuadro 12.** Exactitud del modelo en base a la aplicación de la prueba Freese (1960).

COMPONENTE	ESTADO	$\chi^2$ - CALCULADO	CONDICIÓN	EXACTITUD LOGRADA
Hoja	V	7,76	Exacta	94%
	S	3,20	Exacta	88%
Ramilla	V	9,86	Exacta	96%
	S	8,51	Exacta	95%
Rama	V	10,51	Exacta	94%
	S	8,53	Exacta	92%
Fuste	V	6,02	Exacta	90%
	S	8,99	Exacta	92%
Corteza Fuste	V	10,11	Exacta	97%
	S	6,36	Exacta	85%
Corteza	V	8,78	Exacta	97%
	S	10,12	Exacta	84%
Total	V	5,11	Exacta	97%
	S	3,42	Exacta	96%

$$\chi^2_{(t)} = 11,07$$

Al observar el cuadro 12 se puede destacar que las funciones creadas presentaron exactitudes entre 84% y 97% por lo tanto cumplieron con el error máximo de 20% , esto indica que son exactas.

De acuerdo con la corrección propuesta por Ostle (1973) citado por Vallejos (1979), a continuación se muestran los modelos corregidos de sesgo:

### **VERDE**

i)

$$\ln Fuste = \frac{4,39792 + 0,621179\ln(DAT) + 1,07395\ln(DMAC^2 * HT) - 2,2811}{0,7558}$$

$$\ln Fuste = 2,8008 + 0,8219\ln(DAT) + 1,4209\ln(DMAC^2 * HT)$$

### **SECO**

i)

$$\ln Hojas = \frac{1,71463 + 2,53736\sqrt{DMAC} - 2,0822}{0,6744}$$

$$\ln Hojas = -0,5450 + 3,7624\sqrt{DMAC}$$

ii)

$$\ln \text{Corteza fuste} = \frac{3,55302 + 1,15063 \ln(\text{DMAC}^2 * \text{HT}) - 2,6228}{0,6645}$$

$$\ln \text{Corteza fuste} = 1,3999 + 1,7316 \ln(\text{DMAC}^2 * \text{HT})$$

iii)

$$\ln \text{Total} = \frac{6,01665 + 0,476105 \text{DMEC} + 0,619538 \ln(\text{DMAC}^2 * \text{HT}) - 1,0669}{0,8773}$$

$$\ln \text{Total} = 5,6420 + 0,5427 \text{DMEC} + 0,7062 \ln(\text{DMAC}^2 * \text{HT})$$

## VI. CONCLUSIONES

Los modelos encontrados presentaron coeficientes de determinación ajustados satisfactorios, pudiendo decir entonces que las variables independientes usadas en cada función explican de buena forma la variación de la variable dependiente (biomasa). Además, los modelos cumplieron con los supuestos del método de mínimos cuadrados.

Con la validación se estableció que los modelos generados son exactos, esto se determinó al medir el nivel de exactitud que fue entre el 84% y 97%. Los modelos son insesgados y en cuatro casos con sesgo variables, los que fueron corregidos de acuerdo con la corrección propuesta por Ostle (1973), citado por Vallejos (1979).

La utilización de los modelos debe ser bajo la responsabilidad y criterio del usuario según sean sus intereses, teniendo en consideración los rangos de validez de los modelos, que corresponden a los rangos de las variables independientes medidos en terreno.

También se debe tener en cuenta que las relaciones peso seco/peso verde pueden estar sujetas a variaciones de año en año y de acuerdo con la época en que se realice el muestreo. Este hecho hace recomendable muestrear al momento de tomar datos para un inventario de biomasa para poder obtener una estimación de peso seco más ajustada.

Como podemos observar el espino concentra el mayor porcentaje de su biomasa en el fuste (diámetro en la base mayor a 3 cm), haciendo esto que sea la especie más adecuada para la producción de leña y carbón, coincidiendo esto con la buena calidad de su carbón.

En cuanto al porcentaje de corteza total obtenido es importante mencionar que, si bien la utilización de la especie como fuente para la obtención de taninos es menor, su gran cantidad de corteza la podría hacer más interesante en la industria de curtiembre.

Se debe tener presente que los parámetros ajustados en los modelos son propios para la zona donde fueron recolectados los datos (Pencahue, VII región), por lo que las funciones pueden perder precisión si se aplican en otras zonas del país con condiciones muy distintas a las del área de estudio.

En cuanto a la creación de modelos para flores y frutos no fue posible, pero queda abierta la posibilidad de ampliar este estudio, tal vez no con fines productivos pero si como una forma de aportar al conocimiento de la especie, ya que en el lapso de tiempo en el que se realizó esta investigación no se pudo obtener los datos necesarios para la creación de los modelos, debido al bajo porcentaje de floración y fructificación que presentaron los individuos muestreados. Además, es importante mencionar la gran dificultad que presenta la cosecha de flores a causa de las espinas.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Alemdag, I. S.1980. Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships. Canadian Forest Service. Information Report, PI-X-4.38p.
2. Applegate, G.; Gilmour, D. y Mohns, B. 1988.The use of biomass estimations in the management of forest for fuelwood and fodder roduction.Commonwealth Forestry Review. 67(2):141-148p.
3. Bown, H.1992. Biomasa en bosques de lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl) Krasser en la provincia de Última Esperanza XII región. Tesis de grado Universidad de Chile. 62p.
4. Cid, L.; Mora, A y Valenzuela, M. 1990. Inferencia Estadística. Facultad de Ciencias, Departamento de Matemáticas. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 319p.
5. Cogollar, G.; Poblete, M y Barria, G. 1983. Problemas fitosanitarios en algunas especies del tipo forestal esclerófilo. CONAF/PNUD/FAO. Proyecto FO/DP/CHI/83/017. Documento de trabajo N°19.
6. Cunia, T. 1986. On the error of biomass estimates in forest inventories. Part 1: its major components. Faculty of Forestry Miscellaneous Publications N°8, SUNY College of Enviromental Science and Forestry. Siracuse, New York. 69 p.
7. Donoso, C.1978. Dendrología: árboles y arbustos Chilenos. Universidad de Chile, Fac. Ciencias Forestales, Manual N° 2, 141 p.
8. Donoso, C.1982. Reseña ecológica de los bosques mediterráneos de Chile. Universidad Austral de Chile, Fac. Ciencias Forestales. Bosque 4 ( 2 ).
9. Evans, R.1974. Energy Plantations- Should we grow trees for power-plant fuel. Canadian Forest Service. Information Report VP-X-129. 15p.
10. FIA N°C-96-1-S-007, 2000. Proyecto: Domesticación de especies nativas ornamentales de potencial uso industrial, Universidad de Talca.
11. Gajardo, R.1994. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica, Editorial Universitaria Chile.165p

12. Gómez, H.1976. Estimación de algunos componentes de la biomasa vegetal en *Nothofagus glauca* (phil.) Krasser. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. 50 p.
13. Gujarati, D.1997. Econometría. 3ª Edición. McGraw-Hill. México.824p.
14. Gutiérrez y Armesto, 1981. El rol del ganado en la dispersión de las semillas de *Acacia caven* (Leguminosae) Ciencia e Investigación Agraria 8(1) 3-8.
15. Jiles, C. 1963. La flora con valor económico de la provincia de Coquimbo. Stgo,Conarte.33 p.
16. Kannegiesser, U.1987. Evaluación de biomasa y boldina en Boldo (*Peumus boldus*), VII Región. Memoria Fac. Cs. Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 97 p.
17. Ker, M. 1980. Tree biomass equations for seven species in Southwestern New Brunswick, Maritimes Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Environment Canada. Information Report M-X-114. 18p.
18. Kruussela, K. y Nyysönen, A. 1981. Cuantificación de la energía Forestal, Métodos de estimación de la biomasa. Unasyuva 31-34.
19. Lineros, M. 1986. Funciones locales de biomasa (madera y corteza) para *Pinus radiata* D.Don. Tesis de Grado Universidad de Concepción 45p.
20. Madgwick, H.1973. Biomass and productivity models of forests canopies. En: Analysis of temperate forests ecosystems. Springer Verlag, Berlin, RFA.p. 47-53.
21. Magni, C.1995.Acumulación de biomasa y nutrientes en bosque mixto natural de lenga (*Nothofagus pumilio* ( Poep. et Endl) y Coihue de Magallanes en la XII Región. Memoria Fac. Cs. Agrarias y Forestales, U. de Chile, Santiago, 93 p.
22. Navas, B.1976. Flora de la cuenca de Santiago de Chile, tomo II Stgo. de Chile, Ediciones Universidad de Chile 559 p.
23. Newbould, P.1969. Methods for estimating the primary production of forests. IBP. Handbook N°2 Blackwell Scientific Publ. Oxford, 59 p.
24. Olivares, A.1983. Potencial silvopastoral del matorral de *Acacia caven*. En: Actas del encuentro del estado de la investigación sobre manejo silvopastoral en Chile. Talca, Universidad de Talca, Campus Lircay pp.57-64.

25. Olivares, A. 1991. El Verdadero y Gran Valor del Espino. Chile Agrícola. Junio pp. 200-203.
26. Ortiz, J. 1966. Algunas especies forestales de la estepa septentrional. Boletín técnico n° 23. Ministerio de Agricultura, Dirección de Agricultura y Pesca, Depto. de Extensión Agrícola.
27. Oyarzún, M. y Palavicino, V. 1984. Evaluación de especies leñosas, para ser usadas con fines energéticos, en la provincia de Choapa IV Región. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal Universidad de Chile. Fac. de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Santiago, Chile. 132p.
28. Pardé, J. 1980 Forest biomass. Forest Products Abstracts Review article. Vol 3 (8):165-184.
29. Pedrasa, M. 1989. Producción de Biomasa y circulación de nutrientes en un rodal de Ruil en la zona de Constitución. Tesis de Grado Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 112p.
30. Prado, J; Infante, P; Arriagada, M; Aguirre, S. 1988. Funciones de biomasa para siete especies arbustivas en la IV región. CONAF/PNUD/FAO. Proyecto FO/DP/CHI/83/017. Documento de trabajo N° 14. 132p.
31. Reynolds, M. 1984. Estimating the error in model predictions. For. Sci. 30(2): 454-469.
32. Rodin, L. y Bazilevich, N. 1967. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Chapter 3. Deciduos an broad-leaved forest. London, England. pp 115-164.
33. Rosende, R. 1990. Producción secundaria de especies del bosque esclerófilo y espinoso. En: Apunte docente N°3: "Observaciones silviculturales de los bosques esclerófilos y espinosos de la zona central de Chile". Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, pp.126-141.
34. Satoo, T. 1970. A Synthesis of studies by the harvest method: Primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan. In: D. E. Reichle (ed). Analysis of Temperate Forest Ecosystems. Springer-Verlag, Berlín. Pp. 55-72 p.
35. Schmidt, H; y Caldentey, J. 1994. Apuntes, Tercer curso de silvicultura de los bosques de lenga. CONAF/CORMA AUSTRAL, Universidad de Chile. 95 p.
36. Teller, A. 1988. Biomass, productivity and wood waste evaluation in a spruce (*Picea abies*) forest (Strinchamps, 1983). Commonw For. Rev. 67 (2):129-147.

37. Vallejos, J.1979. Un método para evaluar la exactitud de la función de volumen. INFOR. Informe Técnico n°75. Santiago, Chile. 24 p.
38. Vargas, F.1999. Uso de variables indicadoras para determinar funciones de volumen en *Nothofagus obliqua* (Merbel), en la VII región . Tesis para optar al Título de Licenciado en Ciencias Forestales. Universidad de Talca. 146p.
39. Vita, A.1986. Forestación y tratamientos silviculturales con espino en la comunidad agrícola de Cuz - Cuz (Comuna de Illapel). Universidad de Chile, Fac. Cs. Agrarias y Forestales.
40. Vita, A; Serra, M<sup>a</sup>; Grez, I; Olivares; A; Gonzales, M..1995. Intervenciones silviculturales en espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol.) en la zona árida de Chile. Ciencias Forestales Vol 10. N°1-2: 51-62.
41. Whittaker, R.1975. Communities and Ecosystems. Second Edition. MacMillan. New York. 385 p.

**VIII. APÉNDICES**

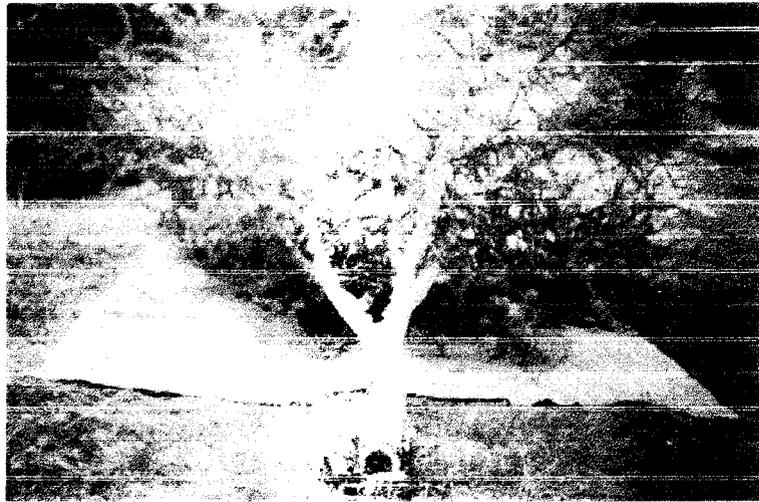
## APÉNDICE I



**Figura 4.** Recolección de muestras.



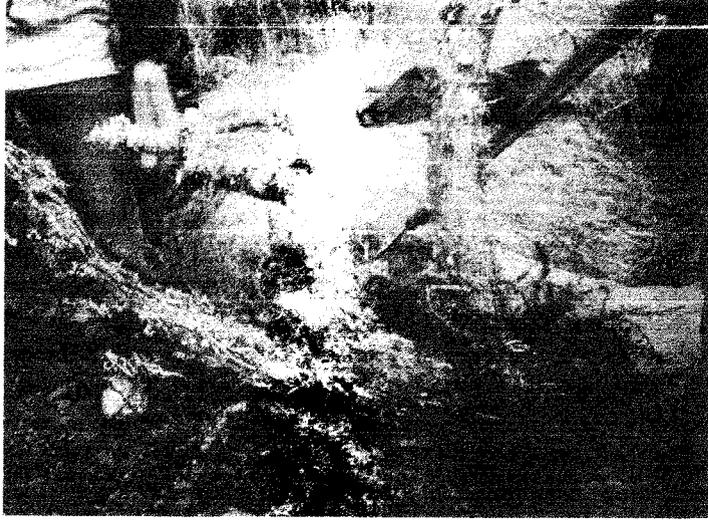
**Figura 5.** Volteo de un árbol.



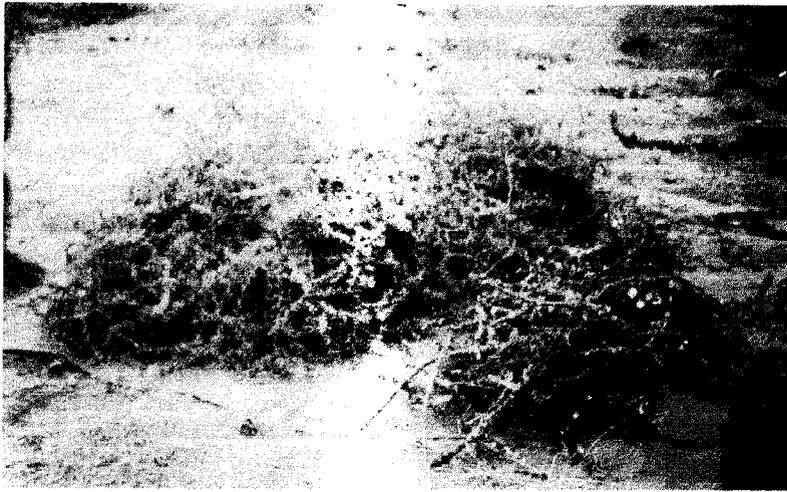
**Figura 6.** Árbol volteado.



**Figura 7.** Separación de cada componente del árbol.



**Figura 8.** Obtención del fuste.



**Figura 9.** Ramas y ramillas separadas.



**Figura 10.** Pesaje de ramillas.



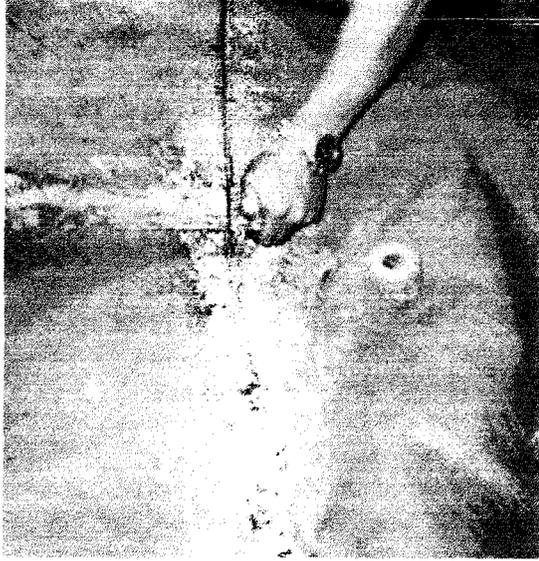
**Figura 11.** Pesaje de ramas.



**Figura 12.** Pesaje de fuste.



**Figura 13.** Obtención de rodelas de fuste con motosierra.



**Figura 14.** Obtención de rodela de fuste con serrucho.



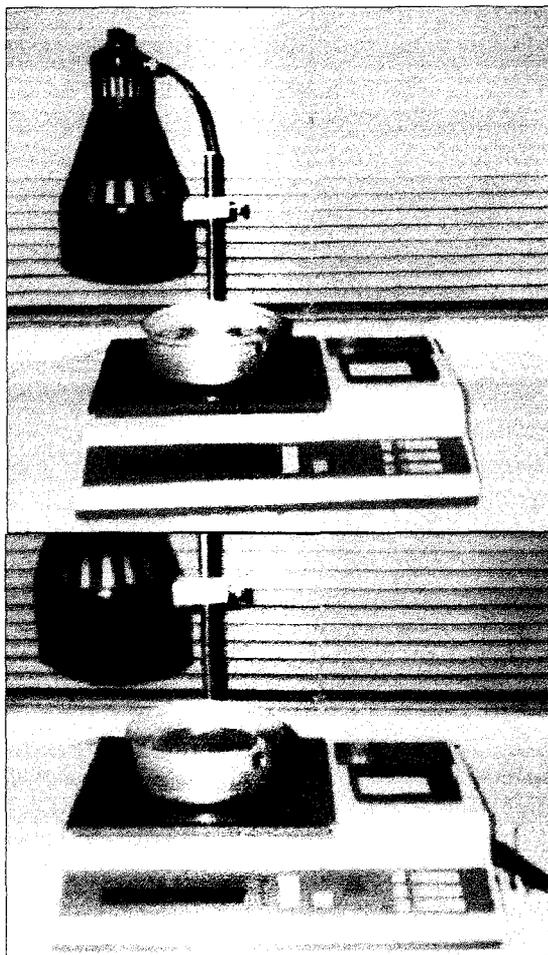
**Figura 15.** Pesaje de muestras de fuste.



**Figura 16.** Obtención de corteza.



**Figura 17.** Pesaje de corteza.



**Figura 18.** Pesaje de muestras en laboratorio.

## APÉNDICE 2

Matrices de correlación para comprobar la multicolinealidad de las funciones de biomasa.

### TOTAL SECO

	Ln Total	DMEC	Ln (DMAC <sup>2</sup> * HT)
Ln Total	-		
DMEC	0,9216	-	
Ln(DMAC <sup>2</sup> * HT)	0,9296	0,9364	-

### FUSTE SECO

	Ln Fuste	Ln DAT	(DMAC) <sup>1/2</sup>
Ln Fuste	-		
Ln DAT	0,7703	-	
(DMAC) <sup>1/2</sup>	0,9130	0,7070	-

### TOTAL VERDE

	Ln Total	DMEC	Ln(DMAC <sup>2</sup> *HT)
Ln Total	-		
DMEC	0,9201	-	
Ln(DMAC <sup>2</sup> *HT)	0,9285	0,9408	-

### FUSTE VERDE

	Ln Fuste	Ln DAT	Ln(DMAC <sup>2</sup> *HT)
Ln Fuste	-		
Ln DAT	0,7827	-	
Ln(DMAC <sup>2</sup> *HT)	0,9193	0,7399	-

### CORTEZA FUSTE VERDE

	Ln CorFust	HT <sup>2</sup>	(DMEC) <sup>1/2</sup>
Ln CorFust	-		
HT <sup>2</sup>	0,6727	-	
(DMEC) <sup>1/2</sup>	0,8910	0,6261	-

## **IX. ANEXOS**

## ANEXO 1

### ECUACIONES PREDICTORAS DE BIOMASA

1.- Oyarzun y Palavicino (1984)	R <sup>2</sup> ajustado
Ln PST = -2,598914 + 2,021527 Ln DB	0,99
PSR = -3,407963 + 2,368579 DCM	0,85
Ln PSR1 = -1,476504 + 0,9433813 Ln DB	0,85
Ln PSTOT = -1,968267 + 1,8911210 Ln DB	0,99

Donde:

PST : peso seco tronco (kg)  
 PSR : peso seco ramas (kg)  
 PSR1 : peso seco ramillas (kg)  
 PSTOT : peso seco total (kg)  
 DB : diámetro basal (cm)  
 DCM : diámetro copa medio (m)

2.- Prado et al., (1988)	R <sup>2</sup> ajustado
PT = -17,0107 + 0,05463 (AA) + (DMEC)	0,96
PR = -0,8666 + 0,05097 (AA)	0,97
PR1 = -10,2917 + 2,1555 (DMAC) + 0,03818 (DD) + 6,9923 (DMEC)	0,92

Dende:

AA :  $DB^2 * (3,1416/4) * NR * HMF$   
 DD :  $DMAC * DMEC * NR * HT$   
 DB : diámetro basal (cm)  
 HMF : altura de máximo follaje (m)  
 NR : N° de ramas > de 3 cm de diámetro  
 DMAC: diámetro mayor de copa (m)  
 DMEC : diámetro menor de copa (cm)  
 HT : altura total (m)  
 PT : Peso seco total (kg)  
 PR : Peso seco ramas (kg)  
 PR1 : Peso seco ramillas (kg)