



GOBIERNO DE CHILE
Corporación Nacional Forestal
Oficina Provincial Cachapoal

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
De Ciencias y Tecnología
Escuela de Ingeniería Forestal





GOBIERNO DE CHILE
Corporación Nacional Forestal
Oficina Provincial Cachapoal

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
De Ciencias y Tecnología
Escuela de Ingeniería Forestal



ESTUDIO FORMULACION Y AJUSTE DE FUNCIONES DE BIOMASA DE BOLDO Y DE LEÑA DE QUILLAY, PROVINCIA DE CACHAPOAL

Rancagua, Abril de 2004



GOBIERNO DE CHILE
Corporación Nacional Forestal
Oficina Provincial Cachapoal

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
De Ciencias y Tecnología
Escuela de Ingeniería Forestal



PRESENTACIÓN

El presente estudio fue encargado por la Oficina Provincial Cachapoal de la Corporación Nacional Forestal a la Escuela de Ingeniería Forestal de la UNICIT, en el marco del convenio de colaboración entre ambas instituciones.

La provincia de Cachapoal concentra el 49% (182.493 hás) de la superficie de regional cubierta con bosque nativo, constituido principalmente por formaciones vegetales del tipo forestal esclerófilo, por lo tanto avanzar en herramientas que permitan una mejor caracterización de este recurso, sin duda es un aporte para su sustentabilidad, considerando que entre 1995 y 2000 (período intercatastral del bosque nativo), la superficie de bosque nativo en la región de O'Higgins sufrió una merma del 5% debido al avance de áreas industriales, las habilitaciones agrícolas y la ocurrencia de incendios forestales. En este sentido los datos que aporta el estudio son fundamentales para las funciones de protección y fomento del manejo sustentable de los recursos naturales que realiza esta Oficina Provincial, para conservar el patrimonio ambiental y forestal de su territorio jurisdiccional.

Este estudio fue realizado entre noviembre de 2003 y febrero del 2004, por un equipo profesional de la UNICIT, dirigido por el Ingeniero Forestal Sr. Luis Vidal y tuvo como contraparte técnica en CONAF a la Sra. Ruby Bozo, Encargada de la Unidad de Administración y Fiscalización Forestal y Sr. Hugo Barrueto, Jefe Provincial de Cachapoal. Cualquier cita de este estudio, por tanto, debe hacer referencia a la elaboración conjunta CONAF-UNICIT.

Es oportuno además agradecer a los Sres. Luis Mariano Fernández y Atilio Giglio, propietarios de los predios donde se realizaron las mediciones, por las innumerables facilidades otorgadas para realizar el presente estudio.

HUGO BARRUETO PEREZ
INGENIERO FORESTAL. M.Sc.



INDICE

| | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 1 |
| 3. RESULTADOS ESPERADOS | 1 |
| 4. METODOLOGÍA | 2 |
| 4.1 Area de estudio | 2 |
| 4.1.1 Definición de los rodales | 3 |
| 4.2. Análisis de datos preliminares | 3 |
| 4.2.1 Tablas específicas de Rodales | 3 |
| 4.3 Análisis preliminar de terreno | 5 |
| 4.4 Elección de árboles muestras | 5 |
| 4.5 Descripción de faenas | 6 |
| 4.6. Selección de árboles muestras | 7 |
| 4.6.1 Número de árboles | 7 |
| 4.6.2 Mediciones individuales | 7 |
| 4.6.3 Instrumentales empleado en pesaje | 7 |
| 4.6.4 Secado de muestras | 8 |
| 4.7 Tratamiento de la información | 8 |
| 4.7.1 Consolidación de la información o Cribado de datos | 8 |
| 4.7.2 Selección de variables y modelos. | 9 |
| 4.7.3 Selección de funciones | 10 |
| 5. RESULTADOS | 11 |
| 5.1 Resultados Modelos Alométricos seleccionados | 11 |
| 5.1.1 Modelos alométricos seleccionados especie Quillay | 11 |
| 5.1.2 Modelos alométricos seleccionados especie Boldo. | 11 |
| 5.2 Resultados funciones regresión multivariantes seleccionadas | 12 |
| 5.2.1 Funciones de Regresiones Multivariantes seleccionadas especie Quillay | 12 |
| 5.2.2 Funciones de Regresiones Multivariantes seleccionadas especie Boldo | 12 |
| 5.3 Resultados Exploración Funciones Comunes | 13 |
| 5.3.1 Resultados exploración funciones comunes, especie Quillay | 13 |
| 5.3.2 Resultados exploración funciones comunes, especie Boldo | 13 |
| 5.4 Relación Peso Verde a Peso Seco según producto | 14 |
| 5.4.1 Relación Peso Verde a Peso Seco según producto, especie Quillay | 14 |
| 5.4.2. Relación Peso verde a Peso seco según producto, especie Boldo | 14 |
| 6. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS | 16 |
| REFERENCIAS | 19 |
| ANEXOS | |



CUADROS

| | | Página |
|--------------|---|--------|
| Cuadro N° 1 | Tabla de rodal Tricahue 2004 | 3 |
| Cuadro N° 2 | Tabla de rodal Parcela 163 | 4 |
| Cuadro N° 3 | Funciones alométricas seleccionadas, especie Quillay, según producto y modelo Enero-Febrero 2004 | 11 |
| Cuadro N° 4 | Funciones alométricas seleccionadas, especie Boldo, según producto y modelo Enero-Febrero 2004 | 11 |
| Cuadro N° 5 | Funciones de regresión multivariantes seleccionadas, especie Quillay, según producto y función Enero-Febrero 2004 | 12 |
| Cuadro N° 6 | Funciones de regresión multivariantes seleccionadas, especie Boldo, según producto y función Enero 2004 | 12 |
| Cuadro N° 7 | Tabla de resultados exploración de funciones comunes, especie Quillay, según tipo de producto Enero 2004 | 13 |
| Cuadro N° 8 | Tabla de resultados exploración de funciones comunes, especie Boldo, según tipo de producto Febrero 2004 | 13 |
| Cuadro N° 9 | Relación porcentual entre peso seco y peso verde según producto, especie Quillay Enero 2004 | 14 |
| Cuadro N° 10 | Relación porcentual entre peso seco y peso verde según producto, especie Boldo Febrero Enero 2004 | 14 |
| Cuadro N° 11 | Funciones definitivas de peso seco según producto, especie Quillay Tricahue 2004 | 17 |
| Cuadro N° 12 | Funciones definitivas de peso seco según producto, especie Boldo Parcela 163 2004 | 17 |
| Cuadro N° 13 | Rango de aplicación de las funciones alométricas seleccionadas, especie Quillay | 17 |
| Cuadro N° 14 | Rango de aplicación de las funciones alométricas seleccionadas, especie Boldo | 17 |
| Cuadro N° 15 | Resumen de funciones tratadas en estudio de regresión múltiple sin resultados positivos | 18 |



1. INTRODUCCIÓN.

La Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología y la Corporación Nacional Forestal VI Región suscribieron un Convenio de Cooperación Técnica en el Área Forestal, para la preservación de los Recursos Naturales y la Extensión Rural, en la forma de un acuerdo marco para materializar proyectos encaminados a fortalecer las capacidades de ambas entidades y desarrollar actividades compartidas.

En este contexto, la Oficina Provincial Cachapoal encargó a la UNICIT la ejecución del Proyecto Formulación y Ajuste de Funciones para la estimación de:

- Biomasa de la especie Boldo (*Peumus boldus*), específicamente hojas y corteza, y
- Leña de la especie Quillay (*Quillaja saponaria Mol*), tanto de fuste como de ramas mayores.

La elaboración de estas funciones, se realizó basándose en las condiciones contractuales definidas por CONAF en los artículos de carácter técnico del convenio y en el Protocolo respectivo, que formaron parte y orientaron el presente trabajo.

El presente informe desarrolla una metodología cuyos resultados seleccionan las funciones y modelos más adecuados para estimar la biomasa de boldo y leña de quillay para ser aplicables a situaciones homólogas en la Provincia de Cachapoal. De igual forma, se presentan los factores de conversión para obtener peso seco a partir del peso verde en ambas especies, los modelos estadísticos ensayados, los respectivos coeficientes de determinación, bondad del ajuste y la cartografía correspondiente a la superficie estudiada.

Este estudio debe ser citado como:

CONAF-UNICIT,2004. Formulación y ajuste de funciones de biomasa de boldo y de leña de quillay, provincia de Cachapoal. CONAF Oficina Provincial Cachapoal – Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología Escuela de Ingeniería Forestal. Informe Final. Xxp. Rancagua, Chile.

2. OBJETIVOS.

2.1 Confeccionar y ajustar funciones de biomasa para boldo.

2.2 Confeccionar y ajustar funciones de leña para quillay.

2.3 Determinar la relación porcentual entre peso seco y peso verde para biomasa de boldo y quillay.

3. RESULTADOS ESPERADOS.



Los resultados esperados de este proyecto son los siguientes:

- Desarrollo de una metodología de trabajo.
- Determinación de una función para la Estimación de Biomasa de hojas y corteza de Boldo, expresada en kilos.
- Determinación de una función para la estimación de leña de Quillay expresada en kilos.
- Determinación los factores de conversión, obtenidos en laboratorio, de peso verde a peso seco.
- Descripción de los modelos estadísticos ensayados y análisis de regresión múltiple.
- Indicar los coeficientes de Determinación y Error Cuadrático Medio para todos los modelos ensayados y selección de modelos estadísticos de mejor ajuste.
- Determinación de la bondad de ajuste mediante las pruebas normalmente usadas.
- Confeccionar un plano predial señalando los rodales estudiados.
- Análisis de los resultados obtenidos.

4. METODOLOGÍA.

La metodología diseñada para la realización de estos estudios, se basó en una adaptación de la propuesta en el Manual de Procedimientos para Muestreos de Biomasa Forestal, elaborado por la Universidad Austral de Chile. (Schlegel y otros, 2000).

Esta metodología considera la definición de los rodales en términos cartográficos y dasométricos, estudio de los antecedentes preliminares existentes del área de trabajo, en especial las opiniones expertas del personal encargado de ejecutar las faenas y un análisis sistemático de terreno. Las siguientes etapas comprenden las faenas de terreno, propiamente tal, necesarias para la obtención de las muestras específicas, de cada especie y los trabajos de laboratorio, necesarios para obtener el peso seco de los respectivos materiales.

La información así obtenida se procesa, explorando las funciones y modelos más comunes, para finalmente analizar los resultados y determinar las conclusiones respectivas.

4.1 Area de estudio

El área de estudio fue determinada por la Oficina Provincial Cachapoal de CONAF, según lo indicado en el punto quinto del convenio respectivo y, corresponde a:

- Parcela 163, Colonia P. Aguirre Cerda de la comuna de San Vicente, rol 183-13 de propiedad del Sr. Luis Mariano Fernández, para la función de biomasa de Boldo. (ver plano).
- Fundo Tricahue de la comuna de Rengo, rol 221-74 del Sr. Atilio Giglio, para la función de leña de Quillay (ver plano).



Cabe agregar que ambos predios contaron con Plan de Manejo de Corta y Explotación de Bosque Nativo aprobado y vigente al momento de realizar los análisis destructivos, el primero para cosecha de biomasa de boldo y el segundo para extracción de corteza de quillay.

4.1.1 Definición de los rodales.

Los rodales estudiados fueron determinados considerando los siguientes criterios:

- Debido al carácter destructivo de las muestras a tomar, estas deben elegirse en rodales dispuestos para explotación, lo que no permite su elección aleatoria, por consiguiente, el estudio se realizó en rodales que en el periodo se estaban cosechando.
- Deben representar la situación de interés, con una superficie mínima de 10 hectáreas, sin efectos fuertes de borde, grandes claros o accidentes topográficos significativos (quebradas, cortes, etc.), relativamente homogéneos en composición y alteración antrópica.

Como consecuencia de lo anterior, los rodales que se indican en los planos respectivos y que corresponden, para el caso del estudio de boldo a 17,2 ha. y en el caso de quillay a 18,6 ha., son recomendables para el desarrollo de la investigación encomendada.

4.2 Análisis de datos preliminares.

Los antecedentes dasométricos preliminares de los rodales, fueron tomados de los respectivos planes de manejo, aprobados por CONAF.

4.2.1 Tablas específicas de Rodales.

- Predio Tricahue: El rodal en estudio tiene una superficie de 28,9 ha. La especie Quillay, objetivo de nuestro estudio, tiene un Dap medio general de 13,62 cm. y de 27,04 cm., en los pies factibles de ser explotados. La tabla respectiva se presenta en el Cuadro N° 1.



| Cuadro N° 1 | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| TABLA DE RODAL Tricahue 2004 | | | | | |
| Clase Diámetro cm. | Especies | | | | Total |
| | Quillay | Boldo | Espino | Litre | |
| | N° árboles/ha | | | | |
| 0 - 5 | 40 | 76 | 12 | 24 | 152 |
| 5 - 10 | 48 | 52 | 30 | 50 | 180 |
| 10 - 15 | 56 | 4 | 32 | 22 | 114 |
| 15 - 20 | 58 | 2 | 6 | 6 | 72 |
| 20 - 25 | 30 | 2 | 2 | - | 34 |
| 25 - 30 | 12 | - | 2 | - | 14 |
| 30 - 35 | 2 | - | - | - | 2 |
| 35 - 40 | 2 | - | - | - | 2 |
| 40 - 45 | 2 | - | - | - | 2 |
| Total | 250 | 136 | 84 | 102 | 572 |

El sector de explotación se localiza mayoritariamente en exposición norte, con una pendiente promedio de 35%, con sectores significativos que presentan pendientes superiores al 100%.

Como se puede apreciar en la tabla de rodal, existen cuatro especies arbóreas, siendo la principal el Quillay. El rodal está formado principalmente por una mezcla de monte alto y bajo de Quillay, este último tiene entre 10 y 15 años de edad, con crecimientos anuales muy superiores al monte alto original.

- Parcela 163 Colonia Pedro Aguirre Cerda – Plan de Manejo, superficie afecta 17,2 ha. En el Cuadro N° 2 se presenta la tabla de Rodal, obtenida del plan de Manejo aprobado para la explotación de la Parcela.

| Cuadro N° 2 | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| TABLA DE RODAL Parcela 163 | | | | | |
| Clase Diámetro cm. | Especies | | | | Total |
| | Quillay | Boldo | Espino | Litre | |
| | N° árboles/ha | | | | |
| 2 | - | 1.162,5 | - | - | 1.162,5 |
| 4 | - | 987,5 | - | - | 987,5 |
| 6 | - | 475,0 | - | - | 475,0 |
| 8 | - | 246,3 | - | - | 246,3 |
| 10 | - | 37,5 | - | - | 37,5 |
| Total | - | 2.908,8 | - | - | 2.908,8 |



El sector presenta una pendiente promedio de 15 a 25 %, con una exposición Este, conformado prácticamente por una sola especie, *Peumus boldus*, en adelante la denominaremos por su nombre vulgar Boldo, con escasas presencia de espino y litre. Se observa en el sector, al igual que en el caso Quillay, una mezcla de monte alto y predominantemente monte bajo, con un desarrollo de este último tipo de monte, notablemente superior al monte alto que lo originó.

De los antecedentes se desprenden las conclusiones, que permitieron definir en forma adecuada la toma de muestra:

- Predio Trichahue presenta un rango diamétrico factible de explotar de la especie Quillay que fluctúa entre los diámetros 25 cm., diámetro mínimo autorizado de explotación y 48 cm., máximo. Con un DAP medio estimado de 27,04 cm., Factibles de agrupar en 6 clases diamétricas de 5 en 5 cm., rango de clase definido para estudios de biomasa.
- Parcela 163 presenta un diámetro máximo de 10 cm. Con un DAP medio de 3,94 cm., factibles de agruparse de la especie Boldo agrupados en solo 2 clases diamétricas de 5 en 5 cm., de este tipo de estudios.

4.3 Análisis preliminar de terreno.

En terreno se revisaron ambos sectores y con el personal encargado de efectuar las respectivas explotaciones a fin de aclarar dudas y definir todo aspecto de interés.

Al inicio propiamente tal de los trabajos de terreno en ambos predios se efectuó un reconocimiento sistemático completo de los sectores a estudiar. De este reconocimiento, se pudo comprobar que las distribuciones y rangos diamétricos, en ambos casos, correspondían a lo observado en las respectivas tablas de rodal. Específicamente en Trichahue se comprobó discrepancias en la fotointerpretación del sector a explotar.

4.4 Elección de árboles muestras.

Según la metodología de este tipo de estudio (Schlegel y otros, 2000), en cada rodal se deberían establecer conglomerados conformados por 2 parcelas de 500m², cuya localización debe ser aleatoria y representativa de las variables estudiadas en la totalidad de la superficie que abarca. El objetivo de ello es cumplir el requisito de aleatoriedad que requiere la selección de los árboles a voltear y conocer las variables dasométricas, principalmente el rango diamétrico.

En este caso, se decidió realizar la selección de los árboles de manera aleatoria contemplando toda la superficie de los rodales. Por las siguientes razones:



- En ambos predios se debía recopilar información de una sola especie.
- Los rodales presentaban baja amplitud del rango diamétrico, 6 clases en el caso Quillay y 2 para Boldo.
- Se considero irrelevante el sesgo de selección comparado con los sesgos de la heterogeneidad de las muestras a nivel diametral y de los producidos en la obtención y tratamientos de las muestras.
- La selección de ejemplares por parcelas tradicionales, en este caso específico tiene serias limitantes, porque los cupos correspondientes a los árboles cercanos al DAP medio son rápidamente llenados en las primeras parcelas quedando las parcelas posteriores solo para buscar los árboles faltantes que permitan cubrir la totalidad del rango diamétrico. Incluso los árboles de mayores diámetros, cuya importancia es minimizada por los altos costos de tratamiento que conllevan su análisis en estudios de biomasa, es en nuestro caso específico, relevante para lograr funciones realmente representativas.
- Los árboles muestras al agruparlos por clase diamétrica de 5 en 5 cm., producen sesgos incompatibles con los datos de nuestro problema y obviamente con nuestros objetivos.

Se determinó, por lo tanto, trabajar con una cobertura sistemática de la superficie tratada, lo que permitió una selección de los árboles a explotar que cubrió toda la cobertura de los rangos diamétricos requeridos, en especial de los ejemplares de diámetros extremos tanto mínimos como máximo, los que fueron específicamente elegidos.

4.5 Descripción de faenas.

Quillay: La obtención de la corteza de quillay se inicia con la selección y volteo de los árboles definidos según las normativas técnicas y legales incluidas el plan de manejo, en la época de Noviembre a Enero.

Se voltea el pie seleccionado y se procede a extraer la corteza. Existen dos tipos de corteza, una blanca y otro roja, en la zona adyacente al cambium. La primera presenta rendimientos muy superiores y una extracción mucho más fácil. Normalmente la extracción es solo a nivel fustal. La corteza extraída esta compuesta de cambium y corteza propiamente tal, esta última es eliminada in situ para dejar solo el cambium, que es el producto comerciable.

Esta faena es exclusivamente artesanal, el personal que la realiza normalmente es remunerado al día, con rendimientos bajos que hacen poco factible la rentabilidad real de la explotación del producto.

El árbol completo, después de extraída la corteza, queda en el suelo, para ser utilizado como leña o carbón.



Boldo: La época de explotación de las hojas de esta especie es entre Noviembre y Enero. Se inicia después de la maduración de las hojas primaverales que se produce a fines de Noviembre o principios de Diciembre. Se observan dos tipos de hojas una grande oblonga de 5 cm., de largo por 3,5 cm., de ancho, plana, la otra en cambio es también oblonga de menor tamaño 3,5 cm., de largo por 2 cm., de ancho con su cara curvada y presenta a simple gusto una concentración de boldina muy superior a la primera.

A modo referencial se obtuvo la siguiente relación de número de hojas de estos tipos por cada 10 gramos de producto seco.

- Hojas grandes: 64,5 hojas/ 10 gr., seco.
- Hojas chicas: 133,0 hojas /10 gr., seco.

La rentabilidad de esta faena a nivel del pequeño propietario es muy cuestionable, debido principalmente a los bajos precios del producto puesto predio, los altos cupos mínimos de venta en predio y el tipo de comercialización.

La obtención de la corteza de esta especie, en árboles menores de 15 cm., de DAP con fines comerciales, sólo será factible con relaciones de precio muy favorables. Los rendimientos económicos factibles de obtener, en la extracción de este producto en pies de baja escuadría serán difíciles de lograr.

4.6 Selección de árboles muestras.

4.6.1 Número de árboles.

Dada la alta variabilidad observada en la forma de los ejemplares de las especies y para cubrir las condiciones del cribaje posterior, se decidió incrementar las exigencias contractuales en este punto, según los siguientes porcentajes:

- Quillay: 33 observaciones con un 63% de incremento y,
- Boldo: 25 observaciones en un 25%.

4.6.2 Mediciones individuales.

Se realizaron las siguientes mediciones por pie según especie:

- **Quillay:**
 - a) Dap: Diámetro a la altura de 1,30m del fuste en cm., medido con corteza
 - b) Ht: altura total del árbol en m, tanto en ejemplares multifustales como monopódicos.



- c) Dcopa: Diámetro de la copa del árbol en m.
- d) Dat: Diámetro del fuste a la altura del tocón, a 30 cms del suelo tanto en árboles multifustales o monopódicos.
- e) Nr: Número de ramas.
- f) Hc: Altura comercial hasta uso comercial o 5 cm., de índice de uso 5 cm.,
- g) Hf: Altura del fuste en m. considera desde tocón a inicio de rama lateral.
- h) Peso verde total del fuste en Kg.
- I) Peso verde total de las ramas en Kg., hasta uso comercial
- j) Peso verde muestras fuste en Kg.
- k) Peso verde muestra ramas en Kg.

- **Boldo:**

- a) Dap: Diámetro a la altura de 1,30m del fuste en cm., medido con corteza
- b) Ht: altura total del árbol en m, tanto en ejemplares multifustales como monopódicos.
- c) Dcopa: Diámetro de la copa del árbol en m.
- d) Dat: Diámetro del fuste a la altura del tocón, a 30 cms del suelo tanto en árboles multifustales o monopódicos
- e) Peso total de las hojas verde del pie, en Kg.
- f) Peso total de la corteza del pie hasta 3cm., de índice de uso.
- g) Peso de muestras de hojas en gr.
- h) Peso de muestra corteza, en gr.

4.6.3 Instrumentales empleado en pesaje.

Los siguientes instrumentos fueron utilizados en el trabajo:

- a) Pesas colgantes con un peso máximo de 50 Kg.
- b) Pesas portátiles con un peso máximo de 120 Kg.
- c) Pesas portátiles con un máximo de 5 Kg., con un error de más menos 5 gr.
- d) Las pesas mayores fueron validadas permanentemente o llevadas a cero, la utilizada para pesos menores de 5 Kg., se llevo a cero en cada medición y posteriormente en laboratorio se definió su sesgo de error con balanza electrónica de 0.001 gr., de precisión.

4.6.4 Secado de muestras.

Las muestras obtenidas de ambos procesos fueron sometidas a secado en estufa WTB Binder a una temperatura de 60° a 90°. Diariamente se efectuaron controles de pesajes, de las respectivas muestras, con una pesa Denver Instrument XE – 510 con precisión de 0,01 gr. a fin de evaluar las pérdidas periódicas de peso, hasta lograr la estabilización en un peso constante, indicador de la pérdida total de agua y, por consiguiente el peso seco definitivo.



Con esta metodología se obtuvo una base de datos para ambas especies, compuesta por los pesos secos, los pesos verdes y las mediciones dasométricas de terreno correspondientes a los diferentes pies originales de ambas especies.

4.7 Tratamiento de la información.

Las bases de datos obtenidas de ambas especies fueron tratadas por el método de regresión múltiple para lograr encontrar las funciones matemáticas más representativas.

Para el tratamiento de los datos, se seleccionó el subprograma estadístico de Excel, dado el tamaño de la información, la simpleza de trabajo y porque la validación realizada de sus resultados con los programas S-Plus y Statgraf de mucha mayor especialización estadística fue positiva.

Toda la información se procesó para un 95% de confiabilidad.

4.7.1 Consolidación de la información o Cribado de datos.

Las matrices básicas de datos de ambas especies fueron cribadas de posibles datos anómalos a fin de lograr la consistencia que la información requiere.

Para lo anterior, se definieron rangos límites máximos y mínimos acotados por la ponderación de la media poblacional, con 2,0 y 2,5 desviaciones estándar. Las muestras detectadas, que se encontraban fuera de los rangos antes definidos, fueron analizadas en busca de posibles errores que permitieran definir las causales de la anomalía de valor detectada. (Duncan, 1990).

Del análisis de los datos fuera de los rangos de validez, se pudo comprobar que las causas de la aparente anomalía era producto de la variabilidad propia de la especie y no a sesgos producto de errores de procesamiento o toma de información. Solo 3 muestras fueron desechadas, por problemas de deterioro de información.

4.7.2 Selección de variables y modelos.

Como todas las variables predictoras no tienen igual importancia, fue necesario trabajar con un modelo donde solo las variables importantes estén presentes.

Para el caso de las funciones obtenidas de la Regresión con Múltiples Variables la selección de variables originadas en los antecedentes dasométricos, se inició colocando el máximo de variables que el programa permite. Estas variables fueron combinación simple de ellas o transformaciones logarítmicas o de elevaciones a diferentes grados de potencias. Las variables así analizadas se seleccionaron descartando aquellas de menor valor absoluto del parámetro del test de Student.



En regresión múltiple la elección de los mejores modelos se realizó por los siguientes parámetros, que según su orden decreciente de importancia son:

- **Coefficiente de Determinación:** La manera más básica de determinar el mejor modelo es eligiendo aquél modelo que de un coeficiente de determinación más alto con el menor número de variables predictoras posibles. Un modelo con pocas variables siempre tendrá un coeficiente menor o igual que un modelo que incluye un mayor número de variables. Se debería elegir un modelo con k variables si al incluir una variable adicional el coeficiente no se incrementa sustancialmente, un 5% en términos relativos.
- **Coefficiente de Determinación Ajustado:** El coeficiente de Determinación tiene el problema que se incrementa o por lo menos permanece igual al añadir una variable al modelo, lo que no es aconsejable por las dificultades de aplicación de un modelo complejo de muchas variables, por ello se definió el R^2 ajustado de forma que este disminuye al agregar nuevas variables. Es más estricto.
- **Error Cuadrático Medio o Varianza estimada del error (S^2).** El mejor modelo será aquel que tenga la menor varianza estimada del error o el menor valor de error cuadrático medio.
- **Prueba de la función F.**
- **Otros indicadores:**
 - Coeficiente de Mallows.
 - PRESS Suma de cuadrados de predicción.
 - Validación cruzada.
 - Otros

Se concluyó aplicar para el presente trabajo, de acuerdo al tipo y tamaño de los datos procesados, el Coeficiente de Determinación y el Error Mínimo Cuadrático. (Duncan 1990), (Prodan y otros 1997), (Cochran, 1983), (Salvatore, 1983), (Gayoso y otros 2002) y (Dixon y Massey, 1965).

4.7.3 Selección de funciones.

Con los resultados obtenidos se procedió a explorar las funciones y modelos matemáticos para todos los productos, de ambas especies. La exploración así definida se dividió, solo para efectos de facilitar la presentación del análisis y de los resultados posteriores, en tres tipos de funciones y modelos:

- **Modelos alométricos:** Se probaron los siguientes modelos de este tipo:
 - **Mod1:** $Y = a + b * \ln(Dap)$.



-
- **Mod2:** $Y = a + b * \ln(Dap) + c * \ln(Ht).$
 - **Mod3:** $Y = a + b * \ln(Dap^2 * Ht)$
- **Funciones obtenidas por Regresión múltivariable:** Se analizaron por este sistema, las variables directamente, sus transformaciones logarítmica o con diferentes grados de elevación a potencia y diversas combinaciones de ellas.
 - **Funciones comunes:** Se estudiaron en este punto las funciones comunes de carácter lineal, exponencial, potencial, logarítmicas y polinomiales según exigencia contractual.



5. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos producto de la metodología aplicada y de la selección por los mejores coeficientes de determinación y error cuadrático medio se presenta en los siguientes puntos, clasificados por tipo de función o modelo y según producto de cada especie.

5.1 Resultados Modelos Alométricos seleccionados.

Los coeficientes de los modelos alométricos que mejores resultados dieron según especie y producto se presentan en los cuadros siguientes, para las especies Quillay y Boldo respectivamente.

5.1.1 Modelos alométricos seleccionados especie Quillay.

En el cuadro N° 3 se presentan los modelos alométricos seleccionados por producto de la especie Quillay.

| Cuadro N° 3 Funciones alométricas seleccionadas, especie Quillay, según producto y modelo Enero - Febrero 2004 | | | |
|--|---|--------|--------|
| Producto | Modelo | CoD | ECM |
| Fuste | $Y = \exp(0,13976 + 1,04795 * \ln(Dap) + 0,46864 * \ln(Hf))$ | 0,6361 | 0,4046 |
| Ramas | $Y = \exp(-0,24927 + 0,88634 * \ln(Dap) + 0,90320 * \ln(Ht))$ | 0,6884 | 0,1431 |
| Peso total | $Y = \exp(0,56360 + 0,90150 * \ln(Dap) + 0,70210 * \ln(Ht))$ | 0,6561 | 0,0514 |

5.1.2 Modelos alométricos seleccionados especie Boldo.

En el cuadro N° 4 se presentan los modelos alométricos seleccionados por producto de la especie Boldo.

| Cuadro N° 4 Funciones alométricas seleccionadas, especie Boldo, según producto y modelo Enero - Febrero 2004 | | | |
|--|---|--------|--------|
| Producto | Modelo | CoD | ECM |
| Hojas | $Y = \exp(-3,38121 + 1,53474 * \ln(Dap) + 0,46378 * \ln(Ht))$ | 0,7537 | 0,2773 |
| Corteza | $Y = \exp(-6,42692 + 0,99551 * \ln(Dap) + 2,25843 * \ln(Ht))$ | 0,8547 | 0,0839 |
| Peso total | $Y = \exp(-3,99524 + 1,41035 * \ln(Dap) + 0,97971 * \ln(Ht))$ | 0,8521 | 0,1992 |

En ambos cuadros la nomenclatura empleada significa:

- y : Peso seco en kgs.
- exp : Antilogaritmo natural
- Ln(Dap) : Logaritmo natural del diámetro a la altura del pecho o 1,30 m.
- Ln (Hf) : Logaritmo natural de la altura del fuste en m.
- Ln(Ht) : Logaritmo natural de la altura total del árbol en m.
- CoD : Coeficiente de Determinación
- ECM : Error Cuadrático Medio.



5.2 Resultados funciones regresión multivariantes seleccionadas.

En los cuadros siguientes se presentan funciones seleccionadas por el empleo de regresión múltiple con los mejores Coeficientes de Determinación y Error Cuadrático Medio, clasificados por especie y productos.

5.2.1 Funciones de Regresiones Multivariantes seleccionadas especie Quillay.

| Cuadro N° 5 Funciones de Regresión multivariantes seleccionadas, especie Quillay, según producto y función Enero - Febrero 2004 | | | |
|--|--|------------|------------|
| Producto | Modelo | CoD | ECM |
| Fuste | $Y = \exp(2,7783 + 0,3811Hf + 0,0004 * Dap^2 * Hf - 0,00003 * Dap^2 * Hf^3)$ | 0,7151 | 0,0972 |
| Ramas | $Y = \exp(+4,4223 + 0,000000878 * Dat^2 * Hc^3)$ | 0,7208 | 0,1258 |
| Total | $Y = \exp(+4,53790 + 0,00894Dat + 0,00003 * Dat^2 * Hc^3)$ | 0,8063 | 0,0523 |

En el cuadro N° 5 se presenta los resultados obtenidos de la aplicación de modelos multivariantes para la especie Quillay.

5.2.2 Funciones de Regresiones Multivariantes seleccionadas especie Boldo.

En el cuadro N° 6 se presenta las funciones seleccionadas con los mejores Coeficientes de Determinación y Error Cuadrático Medio, de los productos de la especie Boldo.

| Cuadro N° 6 Funciones de Regresión multivariantes seleccionadas, especie Boldo, según producto y función Parcela 163 - Enero 2004 | | | |
|--|---|------------|------------|
| Producto | Boldo modelo | CoD | ECM |
| Hojas | $Y = \exp(-0,0643 + 0,0467 Dap^2 - 0,00361 Dap^3 + 0,0827 Dcopa^3)$ | 0,9238 | 0,1730 |
| Corteza | $Y = \exp(-1,5514 + 0,0349Dap^2 - 0,0025Dap^3 + 0,0314Dcopa^3)$ | 0,8651 | 0,1544 |
| Total | $Y = \exp(-1,3507 + 0,0641 Dap^2 - 0,0045 Dap^3 + 0,0442 Dcopa^3)$ | 0,9313 | 0,1026 |

En ambos cuadros las abreviaturas significan:

- y : Peso seco en kgs.
 exp : Antilogaritmo natural
 Dap : Diámetro a la altura de 1,30m del fuste en cm.
 Hc : Altura comercial hasta uso comercial o índice de uso 5 cm., en m.



Hf : Altura fustal en m.
Dcopa : Diámetro de la copa del árbol en m.
Dat : Diámetro del fuste a la altura del tocón.

5.3 Resultados Exploración Funciones Comunes.

Las denominadas funciones comunes son: Lineal, exponencial, potencial, logarítmica y polinomial, presentaron muy bajos coeficientes de determinación. Este resultado es general para los productos de ambas especies.

5.3.1 Resultados exploración funciones comunes, especie Quillay.

En el Cuadro N° 7, se presentan los resultados detectados para las funciones definidas como comunes, para la especie Quillay.

| Cuadro N° 7 Tabla de resultados exploración de funciones comunes, especie QUILLAY, según tipo de producto. Trichahue - Enero 2004 | | | |
|--|--|--|--|
| QUILLAY | Fuste | Ramas | Total |
| <i>Lineal</i> | $Y = 2,348 * Dap - 10,323$ CoD= 0,3077 | $Y = 4,7185 * Dap + 4,9098$ CoD=0,1781 | $Y = 6,2486 * Dap + 17,898$ CoD=0,2725 |
| <i>Exponencial</i> | $Y = 19,803 * e^{0,0383 * Dap}$ CoD=0,2455 | $Y = 43,565 * e^{0,0366 * Dap}$ CoD=0,2023 | $Y = 67,271 * e^{0,0351 * Dap}$ CoD=0,3391 |
| <i>Potencial</i> | $Y = 1,9791 * Dap^{0,9815}$ CoD=0,2355 | $Y = 2,5047 * Dap^{1,171}$ CoD=0,2357 | $Y = 4,3545 * Dap^{1,1229}$ CoD=0,3943 |
| <i>Logarítmica</i> | $Y = 65,577 * \ln Dap - 161,68$ CoD=0,2735 | $Y = 150,77 * \ln Dap - 362,68$ CoD=0,2072 | $Y = 197,51 * \ln Dap - 461,73$ CoD=0,3102 |
| <i>Polinomial</i> | $Y = -0,059 * Dap^2 - 1,451 * Dap + 47,55$ CoD=0,3168 | $Y = -0,263 * Dap^2 + 21,53 * Dap - 251,2$ CoD=0,2432 | $Y = -0,303 * Dap^2 + 25,62 * Dap - 277,3$ CoD=0,3479 |

5.3.2 Resultados exploración funciones comunes, especie Boldo.

En el Cuadro N° 8 se muestran los resultados obtenidos para la especie Boldo.



| Cuadro N° 8 | | | |
|---|---|--|---|
| Tabla de resultados exploración de funciones comunes, especie BOLDO, según tipo de producto. | | | |
| Y : Peso Seco en kgs. | | Parcela 163 - Febrero 2004 | |
| Dap : Diámetro a la altura de 1,30m del fuste en cm. | | | |
| BOLDO | Corteza | Hojas | Total |
| Lineal | $Y = 0,0912 * Dap - 0,1831$ CoD=0,6866 | $Y = 0,3125 * Dap - 0,9801$ CoD=0,6721 | $Y = 0,4264 * Dap - 1,3955$ CoD=0,69 |
| Exponencial | $Y = 1176 * e^{0,161 * Dap}$ CoD=0,6258 | $Y = 0,1431 * e^{0,2299 * Dap}$ CoD=0,6916 | $Y = 0,3259 * e^{0,186 * Dap}$ CoD=0,6637 |
| Potencial | $Y = 0,028 * Dap^{1,3708}$ CoD=0,6677 | $Y = 0,0321 * Dap^{1,7094}$ CoD=0,7462 | $Y = 0,0634 * Dap^{1,5731}$ CoD=0,6982 |
| Logarítmica | $Y = 0,7255 * \ln(Dap) - 0,8964$ CoD=0,6393 | $Y = 2,0165 * \ln(Dap) - 2,4606$ CoD=0,5464 | $Y = 3,2623 * \ln(Dap) - 4,4768$ CoD=0,5942 |
| Polinomial | $Y = 0,003 Dap^2 + 0,0359 Dap + 0,0359$ CoD=0,6976 | $Y = -0,026 Dap^2 - 0,137 Dap - 0,551$ CoD=0,7535 | $Y = 0,034 Dap^2 + 0,227 Dap - 1,186$ CoD=0,7607 |

Donde:

5.4 Relación Peso Verde a Peso Seco según producto.

5.4.1 Relación Peso Verde a Peso Seco según producto, especie Quillay

En el cuadro N° 9 se presenta un resumen de estas relaciones, para la especie Quillay.

| Cuadro N° 9 | | | |
|---|-----------------|-----------------|----------------------------|
| Relación porcentual entre Peso Seco y Peso Verde según Producto, especie Quillay | | | |
| Tricahue, Enero - 2004 | | | |
| Producto | Promedio | Varianza | Desviación Estandar |
| Ramas | 61,24% | 0,002919 | 5,40% |
| Fuste | 54,07% | 0,002411 | 4,91% |
| Peso total | 58,79% | 0,002205 | 4,70% |

La conversión entregada en la tabla anterior especifica el peso seco de la biomasa como porcentaje del peso verde, así por ejemplo, el peso seco de las ramas de Quillay representa el 61,24% del peso en verde de dicho material y así para cada producto.



Por otra parte, del análisis de la relación porcentual existente entre peso verde a peso seco, para la especie Quillay, se deduce que no existe una buena correlación estadística entre la variación de los parámetros dasométricos estudiados, en particular el DAP y los porcentajes de pérdida de humedad. Eso sí, se aprecia que las maderas provenientes de ramas, presentó un contenido de humedad promedio en relación al DAP de 61,24%, con una desviación estándar de solo 5,40%. La madera proveniente de fuste presenta un porcentaje menor frente a esta misma variable, de un 54,07% de promedio, con una desviación estándar de 4,91%.

Se resume y pondera los anteriores parámetros con el análisis de la relación Peso Total de los productos de esta especie, en este caso, el promedio del peso seco total es un 58,79% del peso verde total, con una desviación estándar de 4,70%.

5.4.2 Relación Peso verde a Peso seco según producto, especie Boldo.

La conversión de peso verde a peso seco se entrega en el cuadro N° 10.

| Cuadro N° 10 Relación porcentual entre Peso Seco y Peso Verde según Producto, especie Boldo Parcela 163, Febrero - 2004 | | | |
|--|-----------------|-----------------|----------------------------|
| Producto | Promedio | Varianza | Desviación Estándar |
| Hojas | 41,46% | 0,007400 | 8,60% |
| Corteza | 44,65% | 0,007098 | 8,43% |
| Peso total | 41,31% | 0,002274 | 4,77% |

De igual forma, el cuadro anterior señala a que porcentaje del peso verde corresponde el peso seco; por ejemplo, el peso seco de la corteza de boldo corresponde al 41,46 % del peso verde del mismo producto.

La especie Boldo al igual la especie Quillay tampoco presenta una buena correlación estadística entre la variación de los parámetros dasométricos (DAP) y los porcentajes de pérdida de humedad. Sus promedios son bastante semejantes. Se aprecia que las hojas presentaron un contenido de humedad promedio en relación al DAP de 41,46% con una desviación estándar de 8,60%. La corteza presenta un porcentaje de un 44,65% de promedio con una desviación estándar de 8,43%. Al ponderar los anteriores parámetros con el análisis de la relación peso total, el porcentaje promedio es un 41,36% con una desviación estándar de 4,77%.



6. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS.

Los resultados logrados, después de describir experimentalmente el problema, planteadas las funciones y/o modelos matemáticos y resueltos estos, es preciso analizar la reproducibilidad y verificabilidad experimental de lo concluido.

Es preciso, recalcar la profunda diferencia que existe entre una función matemática y un modelo matemático biológico, la estadística es un instrumento indispensable para la realización de este proceso, pero no siempre lo estadísticamente significativo es lo correcto. En nuestro caso, este concepto es altamente significativo.

Probadas las funciones matemáticas más diversas, sólo los modelos alométricos proporcionaron resultados validos. Esta aseveración, se concluye al extrapolar los valores de las funciones seleccionadas fuera de los rangos considerados en los ajustes respectivos, sus resultados en la mayoría de los casos, son anormales e ilógicos. En contadas excepciones, algunos funciones podrían ser validadas aumentando la base muestral.

La causa de lo anterior, es que la calidad de análisis de los softwares actualmente en uso, hacen posible a través de los mecanismos de selección de variables de la regresión múltiple, obtener funciones que logran ajustar en



espacios n dimensionales todo tipo de distribuciones de puntos, incluso datos "outliers" (verticales u horizontales), que provocan fuertes distorsiones a los resultados del ajuste.

Es preciso distinguir, la diferencia entre bondad de ajuste y bondad de tendencia, los modelos probados miden esta última. Un modelo matemático es una descripción simple de un proceso biológico que puede ayudarnos a pensar los procesos o mecanismos biológicos, permitiéndonos diseñar mejores experimentos y darle sentido a nuestros resultados.

El contexto biológico como un parámetro de lo real, considera que la lógica de la explicación biológica debe primar sobre la matemática, pero que acepta de manera innegable que las interacciones complejas dentro de los sistemas biológicos no pueden ser abordadas de manera simplemente descriptiva.

En conclusión, el resultado final positivo de este estudio indica que los modelos alométricos seleccionados son los que proporcionan las estimaciones de mayor confiabilidad estadística y biológica.

Estas funciones definitivas logradas se presentan en el cuadro N° 11 para la especie Quillay.

| Cuadro N° 11 Funciones definitivas de Peso Seco según producto, especie Quillay Trichahue 2004 | |
|---|--|
| Producto | Función |
| Fuste | $y = \exp(0.13976 + 1,04795*\ln(Dap) + 0,46864*\ln(Hf))$ |
| Ramas | $y = \exp(0.24927 + 0,88634*\ln(Dap) + 0,90320*\ln(Ht))$ |
| Total | $y = \exp(0,56360 + 0,90150*\ln(Dap) + 0,70210*\ln(Ht))$ |

En el Cuadro N° 12 se presentan las funciones representativas de la especie Boldo.

| Cuadro N° 12 Funciones definitivas de Peso seco según producto, especie Boldo Parcela 163 2004 | |
|---|--|
| Producto | Función |
| Hojas | $y = \exp(- 3,38121 + 1,53474*\ln(Dap) + 0,46378*\ln(Ht))$ |
| Corteza | $y = \exp(- 6,42692 + 0,99551*\ln(Dap) + 2,25843*\ln(Ht))$ |
| Total | $y = \exp(- 3,99524 + 1,41035*\ln(Dap) + 0,97971*\ln(Ht))$ |



Los rangos de aplicación de los modelos y funciones seleccionados, teóricamente, deben ser los mismos rangos de la base de datos respectivos, es decir:

| Cuadro N°13 Rango de Aplicación de las Funciones Alométricas Seleccionadas, especie Quillay | | | |
|--|------------|------------|-----------|
| Valor | Dap | Dat | Ht |
| Mínimo | 16 | 28 | 6,8 |
| Máximo | 48 | 68 | 19,0 |

| Cuadro N°14 Rango de Aplicación de las Funciones Alométricas Seleccionadas, especie Boldo | | | |
|--|------------|------------|-----------|
| Valor | Dap | Dat | Ht |
| Mínimo | 2,5 | 5,0 | 0,5 |
| Máximo | 17,0 | 33,0 | 5,2 |

En el cuadro N° 15, se presenta un resumen de las funciones matemáticas tratadas cuyos parámetros de selección dieron valores inferiores al 0,3000 de coeficiente de determinación, pero que sirvieron para fundamentar las conclusiones logradas.

| Cuadro N° 15 Resumen de funciones tratadas en estudio Regresión Múltiple sin resultados positivos | | | | |
|--|--|----------------|-----------------|--------------|
| Funciones | Sistema de selección de variables | | | Total |
| | Backward | Forward | Stepwise | |
| Multivariabes | 36 | 24 | 12 | 72 |
| Alométricas | 18 | 12 | 12 | 42 |
| Comunes | 30 | - | - | 30 |
| Total | 84 | 36 | 24 | 144 |



REFERENCIAS.

- Duncan, Acheson J. Control de Calidad y Estadística Industrial. Ediciones Alfaomega. 1990.
- Cochran, William G. Técnicas de Muestreo. Compañía Editorial Continental. 1971.
- Salvatore, Dominick. Econometría. Mc Graw – Hill. 1983.
- Dixon y Massey. Introducción al Análisis Estadístico. Mc Graw – Hill. 1965.
- Maxwell, M. A. Análisis Estadístico de Datos Cualitativos. Hispano Americana. 1966.
- Prodan, M., Peters. R., Cox, F., Real, P. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sustentable. 1997.
- Schlegel, B., Gayoso, J., Guerra, J. Manual de Procedimiento de Muestreos de Biomasa Forestal. Proyecto Fondef D98I1076. 2000.
- Gayoso, J., Guerra, J., Alarcón, D. Proyecto Fondef D98I1076. 2002.





| Anexo N° 1 ANTECEDENTES DASOMETRICOS ARBOLES MUESTRAS ESPECIE QUILLAY TRICAHUE - ENERO 2004 | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-----|------|---------|-----------|-------|--------|-------------|--------|--------|
| árbol | DIAMETROS | | | ALTURAS | | | Número | PESOS SECOS | | |
| | DAP | DAT | COPA | Fuste | Comercial | Total | Ramas | RAMA | FUSTE | TOTAL |
| N° | cm. | cm. | m. | m. | m. | m. | N° | | | |
| 1 | 29 | 33 | 6,0 | 2,6 | 5,3 | 8,0 | 8 | 53,36 | 71,72 | 125,08 |
| 2 | 30 | 45 | 5,2 | 2,5 | 5,8 | 6,8 | 12 | 120,02 | 60,66 | 180,68 |
| 3 | 30 | 40 | 10,0 | 1,4 | 6,0 | 16,0 | 6 | 145,53 | 53,57 | 199,10 |
| 4 | 25 | 41 | 7,2 | 1,5 | 5,3 | 10,2 | 8 | 62,27 | 39,63 | 101,90 |
| 5 | 25 | 35 | 5,5 | 2,3 | 4,0 | 9,5 | 8 | 66,25 | 41,92 | 108,17 |
| 6 | 25 | 39 | 7,0 | 1,5 | 4,1 | 9,5 | 8 | 144,83 | 37,84 | 182,67 |
| 8 | 30 | 68 | 6,0 | 1,5 | 7,0 | 11,5 | 5 | 274,36 | 49,1 | 323,46 |
| 9 | 34 | 68 | 4,0 | 2,7 | 5,5 | 8,5 | 5 | 175,34 | 44,82 | 220,16 |
| 10 | 28 | 32 | 6,9 | 2,7 | 5,0 | 9,5 | 7 | 88,94 | 74,75 | 163,69 |
| 11 | 28 | 32 | 7,0 | 1,2 | 5,1 | 8,0 | 13 | 154,57 | 25,03 | 179,60 |
| 12 | 36 | 52 | 8,0 | 2,2 | 8,3 | 12,0 | 10 | 302,04 | 54,58 | 356,62 |
| 13 | 31 | 35 | 6,6 | 2,5 | 6,5 | 11,4 | 15 | 144,12 | 62,26 | 206,38 |
| 15 | 29 | 38 | 5,0 | 3,1 | 9,0 | 16,0 | 11 | 226,64 | 79,73 | 306,37 |
| 16 | 26 | 33 | 5,0 | 1,6 | 9,5 | 17,0 | 6 | 223,68 | 37,59 | 261,27 |
| 17 | 26 | 32 | 4,5 | 3,0 | 5,0 | 8,0 | 5 | 84,46 | 45,98 | 130,44 |
| 18 | 34 | 36 | 7,0 | 1,4 | 7,3 | 12,0 | 8 | 223,61 | 36,89 | 260,50 |
| 19 | 27 | 35 | 8,0 | 1,1 | 8,0 | 19,0 | 5 | 209,15 | 51,97 | 261,12 |
| 20 | 33 | 35 | 4,6 | 1,3 | 5,5 | 8,0 | 8 | 168,88 | 27,45 | 196,37 |
| 28 | 42 | 45 | 6,5 | 1,4 | 7,2 | 11,2 | 6 | 102,16 | 174,68 | 276,84 |
| 29 | 29 | 37 | 7,0 | 2,2 | 5,6 | 9,0 | 7 | 60,16 | 108,76 | 168,92 |
| 30 | 48 | 50 | 9,0 | 1,7 | 6,5 | 13,0 | 7 | 184,48 | 51,31 | 235,79 |
| 31 | 28 | 36 | 4,0 | 2,6 | 6,0 | 9,5 | 7 | 102,50 | 60,63 | 163,13 |
| 32 | 29 | 32 | 6,5 | 1,4 | 5,4 | 8,4 | 8 | 117,45 | 35,29 | 152,74 |
| 33 | 29 | 36 | 7,0 | 3,0 | 8,0 | 14,5 | 4 | 226,21 | 93,03 | 319,24 |
| 41 | 24 | 30 | 4,2 | 4,8 | 6,2 | 9,6 | 6 | 102,98 | 41,13 | 144,11 |
| 42 | 16 | 28 | 4,0 | 1,2 | 5,3 | 7,0 | 6 | 60,05 | 25,91 | 85,96 |
| 43 | 21 | 28 | 4,9 | 1,8 | 4,3 | 8,6 | 5 | 90,07 | 44,57 | 134,64 |
| 44 | 22 | 32 | 7,0 | 2,9 | 9,0 | 15,0 | 6 | 109,04 | 63,72 | 172,76 |



Las observaciones señaladas como 1,2,3,4,5 y 6 corresponde a fustes originados en una misma cepa. Lo mismo ocurre para las observaciones numeradas como 22, 23, 24 y 25.

| Anexo N°2 | | | | | | | | | | | |
|---|--------|------|------|---------|--------|-----------|----------|--------|--------------|---------|-----------|
| ANTECEDENTES DASOMETRICOS ARBOLES MUESTRAS ESPECIE BOLDO | | | | | | | | | | | |
| PARCELA 163 - Febrero 2004 | | | | | | | | | | | |
| N° | Retoño | Dap | Dat | H Total | D/copa | peso hoja | | % hoja | peso corteza | | % corteza |
| | N° | cm. | cm. | m. | m. | verde kg | seca kg. | seca | verde kg. | seca kg | seca |
| 1 | 1a | 4,0 | 33,0 | 4,9 | 0,6 | 0,500 | 0,149 | 29,73% | 0,280 | 0,163 | 58,22% |
| 2 | 1b | 6,0 | 33,0 | 5,0 | 1,8 | 1,420 | 0,452 | 31,86% | 0,825 | 0,466 | 56,51% |
| 3 | 1c | 5,0 | 33,0 | 5,0 | 0,6 | 1,260 | 0,580 | 46,00% | 0,990 | 0,377 | 38,11% |
| 4 | 1d | 4,0 | 33,0 | 3,5 | 0,5 | 1,420 | 0,581 | 40,90% | 0,325 | 0,144 | 44,25% |
| 5 | 1e | 5,4 | 33,0 | 5,0 | 0,5 | 1,820 | 0,681 | 37,44% | 0,480 | 0,221 | 46,09% |
| 6 | 1f | 4,0 | 33,0 | 5,0 | 0,5 | 1,580 | 0,487 | 30,83% | 0,425 | 0,245 | 57,66% |
| 7 | 2 | 17,0 | 23,0 | 6,8 | 5,2 | 11,420 | 6,210 | 54,38% | 3,925 | 1,597 | 40,68% |
| 8 | 3 | 6,0 | 12,0 | 4,5 | 1,3 | 2,220 | 0,795 | 35,80% | 0,825 | 0,282 | 34,16% |
| 9 | 4 | 3,0 | 7,0 | 2,0 | 0,8 | 0,420 | 0,129 | 30,76% | - | - | - |
| 10 | 5 | 11,0 | 13,0 | 6,2 | 2,4 | 4,620 | 0,993 | 21,50% | 1,875 | 1,022 | 54,53% |
| 11 | 6 | 7,3 | 10,0 | 5,8 | 2,2 | 2,860 | 1,209 | 42,26% | 1,775 | 0,703 | 39,59% |
| 12 | 7 | 8,6 | 15,0 | 6,0 | 2,3 | 3,900 | 1,887 | 48,38% | 2,775 | 1,034 | 37,27% |
| 13 | 8 | 5,5 | 12,0 | 4,2 | 0,8 | 1,620 | 0,655 | 40,46% | 0,525 | 0,219 | 41,63% |
| 14 | 9 | 6,0 | 12,0 | 5,5 | 1,4 | 3,100 | 1,457 | 47,00% | 1,525 | 0,628 | 41,17% |
| 15 | 10 | 4,5 | 7,5 | 4,3 | 0,7 | 0,500 | 0,238 | 47,50% | 0,475 | 0,140 | 29,56% |
| 16 | 11 | 6,4 | 7,0 | 4,3 | 1,3 | 2,020 | 0,779 | 38,54% | 0,575 | 0,272 | 47,24% |
| 17 | 12 | 12,1 | 13,0 | 4,7 | 2,7 | 2,260 | 0,738 | 32,64% | 1,575 | 0,615 | 39,04% |
| 18 | 13 | 11,0 | 16,0 | 4,4 | 1,8 | 2,060 | 0,863 | 41,90% | 0,575 | 0,286 | 49,74% |
| 19 | 14 | 10,0 | 15,0 | 4,9 | 2,8 | 6,020 | 2,744 | 45,58% | 1,525 | 0,662 | 43,42% |
| 20 | 15 | 8,3 | 11,0 | 4,5 | 2,4 | 4,420 | 2,007 | 45,40% | 0,975 | 0,366 | 37,58% |
| 21 | 16 | 12,6 | 16,0 | 4,5 | 3,4 | 8,420 | 4,104 | 48,74% | 1,775 | 1,004 | 56,55% |
| 22 | 17a | 2,5 | 5,0 | 2,8 | 0,7 | 0,420 | 0,246 | 58,62% | - | - | - |
| 23 | 17b | 3,2 | 5,0 | 3,3 | 0,5 | 0,420 | 0,190 | 45,24% | - | - | - |
| 24 | 17c | 3,5 | 5,0 | 3,1 | 0,5 | 0,620 | 0,279 | 45,04% | - | - | - |
| 25 | 17d | 3,2 | 5,0 | 3,5 | 0,5 | 0,420 | 0,210 | 50,06% | - | - | - |



| Anexo N° 3 | | | | | | | | | |
|--|------------|--------|-----------|----------|----------|--------------------------|----------------------|---------|-----|
| Estudio de funciones alométricas, según especie, producto y modelo | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Enero - Febrero 2004 | | |
| Especie | Producto | Modelo | Intercep | ln(dap) | ln(Ht) | ln(Dap ² *Ht) | CoD | ECM | obs |
| Quillay | fuste | mod1 | 0,68265 | 0,49073 | - | - | 0,23547 | 0,14087 | 29 |
| | | mod2 | 0,13976 | 1,04795* | 0,46864* | 0,40460 | 0,40460 | 0,11393 | 29 |
| | | mod3 | 0,33633 | - | - | 0,40159 | 0,27829 | 0,13298 | 29 |
| | ramas | mod1 | 0,91816 | 1,17099 | - | - | 0,23574 | 0,20023 | 29 |
| | | mod2 | - 0,24927 | 0,88634 | 0,90320 | - | 0,47398 | 0,14311 | 29 |
| | | mod3 | - 0,59909 | - | - | 0,60143 | 0,43896 | 0,14699 | 29 |
| | Peso total | mod1 | 1,47120 | 1,12290 | - | - | 0,39430 | 0,08730 | 29 |
| | | mod2 | 0,56361 | 0,90156 | 0,70217 | - | 0,65617 | 0,05140 | 29 |
| | | mod3 | 0,37245 | - | - | 0,53727 | 0,63714 | 0,05227 | 29 |
| Boldo | hojas | mod1 | - 3,43741 | 1,70945 | - | - | 0,74615 | 0,27342 | 25 |
| | | mod2 | - 3,38121 | 1,53474 | 0,46378 | - | 0,75374 | 0,27735 | 25 |
| | | mod3 | - 3,98760 | - | - | 0,71325 | 0,75150 | 0,26771 | 25 |
| | corteza | mod1 | - 3,57587 | 1,37078 | - | - | 0,66771 | 0,18132 | 20 |
| | | mod2 | - 6,42692 | 0,99551 | 2,25843 | - | 0,85471 | 0,08394 | 20 |
| | | mod3 | - 4,56705 | - | - | 0,66779 | 0,75991 | 0,13101 | 20 |
| | Peso total | mod1 | - 2,75844 | 1,57315 | - | - | 0,69823 | 0,20740 | 20 |
| | | mod2 | - 3,99524 | 1,41035 | 0,97971 | - | 0,72617 | 0,19927 | 20 |
| | | mod3 | - 3,70523 | - | - | 0,73169 | 0,72434 | 0,18945 | 20 |

En donde:

- mod1: $Y = a + b * \ln(Dap)$
 mod2: $Y = a + b * \ln(Dap) + c * \ln(Ht)$
 mod3: $Y = a + b * \ln(Dap^2 * Ht)$
 * Considera Altura fustal



| Anexo N° 4 | | | |
|--|--|---------|---------|
| Exploración de funciones comunes según productos, especie Quillay | | | |
| función | modelo fuste | CoD | ECM |
| Regresión | $Y = 2,7783 + 0,3811hf + 0,0004 Dap^2 * Hf - 0,00003 Dap^2 * Hf^3$ | 0,51139 | 0,0972 |
| Lineal | $Y = 2,348 * Dap - 10,323$ | 0,30770 | |
| Exponencial | $Y = 19,803 * e^{0,0383 * Dap}$ | 0,24550 | |
| Potencial | $Y = 1,9791 * Dap^{0,9815}$ | 0,23550 | |
| Logarítmica | $Y = 65,577 * \ln Dap - 161,68$ | 0,27350 | |
| Polinomiales | $Y = -0,0595 * Dap^2 - 1,4511 * Dap + 47,553$ | 0,31680 | |
| Alométricas | $y = 0,33633 + 0,40159 \ln(Dap^2 * Ht)$ | 0,25160 | 0,13298 |
| función | modelo ramas | CoD | ECM |
| Regresión | $Y = 4,4223 + 0,000000878 Dat^2 * Hc^3$ | 0,51960 | 0,1259 |
| Lineal | $Y = 4,7185 * Dap + 4,9098$ | 0,17810 | |
| Exponencial | $Y = 43,565 * e^{0,0366 Dap}$ | 0,20230 | |
| Potencial | $Y = 2,5047 * Dap^{1,171}$ | 0,23570 | |
| Logarítmica | $Y = 150,77 * \ln Dap - 362,68$ | 0,20720 | |
| Polinomiales | $Y = -0,2634 * Dap^2 + 21,53 * Dap - 251,2$ | 0,24320 | |
| alométricas | $Y = 0,24927 + 0,88634 \ln(Dap) + 0,90320 \ln(Ht)$ | 0,43352 | 0,14311 |
| Función | Modelo total | CoD | ECM |
| Regresión | $Y = 4,53790 + 0,00894 Dat + 0,00003 Dat^2 * Hc^3$ | 0,65013 | 0,0523 |
| Lineal | $Y = 6,2486 * Dap + 17,898$ | 0,17810 | |
| Exponencial | $Y = 67,271 * e^{0,0351 * Dap}$ | 0,20230 | |
| Potencial | $Y = 4,3545 * Dap^{1,1229}$ | 0,23570 | |
| Logarítmica | $Y = 197,51 * \ln Dap - 461,73$ | 0,20720 | |
| Polinomiales | $Y = -0,3036 * Dap^2 + 25,625 * Dap - 277,29$ | 0,24320 | |
| alométricas | $Y = 0,56361 + 0,90156 \ln(Dap) + 0,70217 \ln(Ht)$ | 0,62972 | 0,0514 |



GOBIERNO DE CHILE
Corporación Nacional Forestal
Oficina Provincial Cachapoal

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
De Ciencias y Tecnología
Escuela de Ingeniería Forestal





| Anexo N° 5 | | | |
|--|---|---------|---------|
| Exploración de funciones comunes según productos, especie Boldo | | | |
| función | modelo hojas | CoD | ECM |
| Regresión | $Y = -0,0643 + 0,0467 Dap^2 - 0,00361 Dap^3 + 0,0827 Dcopa^3$ | 0,95666 | 0,11710 |
| Lineal | $Y = 0,3125 DAP - 0,9801$ | 0,67210 | |
| Exponencial | $Y = 0,1431 * e^{0,02299 Dap}$ | 0,69160 | |
| Potencial | $Y = 0,0321 * Dap^{1,7094}$ | 0,74620 | |
| Logarítmica | $Y = 2,0165 * \ln(DAP) - 2,4606$ | 0,54640 | |
| Polinomiales | $Y = -0,0258 Dap^2 - 0,1373 Dap - 0,5512$ | 0,75350 | |
| alométricas | $Y = -3,98760 + 0,7132 \ln(Dap^2 * Ht)$ | 0,74070 | 0,26771 |

| función | modelo corteza | CoD | ECM |
|--------------|--|---------|---------|
| Regresión | $Y = -1,5514 + 0,0349 Dap^2 - 0,0025 Dap^3 + 0,0314 Dcopa^3$ | 0,73797 | 0,10370 |
| Lineal | $Y = 0,0912 * Dap - 0,1831$ | 0,68660 | |
| Exponencial | $Y = 1176 * e^{0,161 Dap}$ | 0,62580 | |
| Potencial | $Y = 0,028 * Dap^{1,3708}$ | 0,66770 | |
| Logarítmica | $Y = 0,7255 * \ln(DAP) - 0,8964$ | 0,63930 | |
| Polinomiales | $Y = 0,0029 Dap^2 + 0,0359 Dap + 0,0359$ | 0,69760 | |
| alométricas | $y = -6,42692 + 0,99551 \ln(Dap) + 2,25843 \ln(Ht)$ | 0,83762 | 0,08394 |

| función | modelo total | CoD | ECM |
|--------------|--|---------|---------|
| Regresión | $Y = -1,3507 + 0,0641 Dap^2 - 0,0045 Dap^3 + 0,0442 Dcopa^3$ | 0,85578 | 0,13714 |
| Lineal | $Y = 0,4264 * Dap - 1,3955$ | 0,69000 | |
| Exponencial | $Y = 0,3259 * e^{0,186 Dap}$ | 0,66370 | |
| Potencial | $Y = 0,0634 * Dap^{1,5731}$ | 0,69820 | |
| Logarítmica | $Y = 3,2623 * \ln(Dap) - 4,4768$ | 0,59420 | |
| Polinomiales | $Y = 0,0345 Dap^2 + 0,2272 Dap - 1,1862$ | 0,76070 | |
| alométricas | $y = -3,70523 + 0,7317 \ln(Dap^2 * Ht)$ | 0,70902 | 0,18945 |



| Anexo N°6 | | | | | | | | |
|---|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tabla de peso seco corteza Especie Boldo | | | | | | | | |
| Función Peso Seco Corteza $Y = \exp(-6,42692 + 0,99551 \cdot \ln(Dap) + 2,25843 \cdot \ln(Ht))$ | | | | | | | | |
| DAP cm. | Alturas total (m.) | | | | | | | |
| | 3,50 | 4,00 | 4,50 | 5,00 | 5,50 | 6,00 | 6,50 | 7,00 |
| pesos en kilos | | | | | | | | |
| 4 | 0,109 | 0,147 | 0,192 | 0,244 | 0,302 | 0,368 | 0,441 | 0,521 |
| 6 | 0,163 | 0,220 | 0,288 | 0,365 | 0,452 | 0,551 | 0,660 | 0,780 |
| 8 | 0,217 | 0,293 | 0,383 | 0,486 | 0,602 | 0,733 | 0,879 | 1,039 |
| 10 | 0,271 | 0,366 | 0,478 | 0,607 | 0,752 | 0,916 | 1,097 | 1,297 |
| 12 | 0,325 | 0,439 | 0,573 | 0,727 | 0,902 | 1,098 | 1,315 | 1,555 |
| 14 | 0,379 | 0,512 | 0,668 | 0,848 | 1,052 | 1,280 | 1,534 | 1,813 |
| 16 | 0,433 | 0,585 | 0,763 | 0,969 | 1,201 | 1,462 | 1,752 | 2,071 |
| 18 | 0,487 | 0,658 | 0,858 | 1,089 | 1,351 | 1,644 | 1,970 | 2,328 |

| Anexo N°7 | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tabla de peso seco hojas Especie Boldo,, | | | | | | | | | | |
| Función de Peso Seco Hojas $Y = \exp(-3,38121 + 1,53474 \cdot \ln(Dap) + 0,46378 \cdot \ln(Ht))$ | | | | | | | | | | |
| Dap cm. | Altura total (m.) | | | | | | | | | |
| | 2,50 | 3,00 | 3,50 | 4,00 | 4,50 | 5,00 | 5,50 | 6,00 | 6,50 | 7,00 |
| pesos en kilos | | | | | | | | | | |
| 2 | 0,151 | 0,164 | 0,176 | 0,187 | 0,198 | 0,208 | 0,217 | 0,226 | 0,235 | 0,243 |
| 4 | 0,437 | 0,475 | 0,510 | 0,543 | 0,573 | 0,602 | 0,629 | 0,655 | 0,680 | 0,704 |
| 6 | 0,814 | 0,885 | 0,951 | 1,012 | 1,068 | 1,122 | 1,173 | 1,221 | 1,267 | 1,311 |
| 8 | 1,265 | 1,377 | 1,479 | 1,573 | 1,662 | 1,745 | 1,824 | 1,899 | 1,971 | 2,039 |
| 10 | 1,782 | 1,939 | 2,083 | 2,216 | 2,340 | 2,457 | 2,568 | 2,674 | 2,775 | 2,872 |
| 12 | 2,357 | 2,565 | 2,755 | 2,931 | 3,096 | 3,251 | 3,398 | 3,538 | 3,671 | 3,800 |
| 14 | 2,986 | 3,250 | 3,491 | 3,714 | 3,922 | 4,118 | 4,305 | 4,482 | 4,651 | 4,814 |
| 16 | 3,665 | 3,989 | 4,284 | 4,558 | 4,814 | 5,055 | 5,284 | 5,501 | 5,709 | 5,909 |
| 18 | 4,392 | 4,779 | 5,133 | 5,461 | 5,768 | 6,057 | 6,331 | 6,591 | 6,841 | 7,080 |



| Anexo N° 8 | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tabla de peso seco Total Especie Boldo | | | | | | | | |
| Función de Peso Seco Total $Y = \exp(-3,99524+1,41035*\ln(Dap))+0,97971*\ln(Ht)$ | | | | | | | | |
| DAP cm. | Altura total (m.) | | | | | | | |
| | 3,50 | 4,00 | 4,50 | 5,00 | 5,50 | 6,00 | 6,50 | 7,00 |
| pesos en kilos | | | | | | | | |
| 4 | 0,444 | 0,506 | 0,567 | 0,629 | 0,691 | 0,752 | 0,814 | 0,875 |
| 6 | 0,786 | 0,896 | 1,005 | 1,115 | 1,224 | 1,333 | 1,441 | 1,550 |
| 8 | 1,179 | 1,344 | 1,508 | 1,672 | 1,836 | 2,000 | 2,163 | 2,325 |
| 10 | 1,615 | 1,841 | 2,066 | 2,291 | 2,515 | 2,739 | 2,963 | 3,186 |
| 12 | 2,089 | 2,381 | 2,672 | 2,963 | 3,253 | 3,542 | 3,831 | 4,120 |
| 14 | 2,596 | 2,959 | 3,321 | 3,682 | 4,043 | 4,402 | 4,762 | 5,120 |
| 16 | 3,134 | 3,572 | 4,009 | 4,445 | 4,880 | 5,315 | 5,748 | 6,181 |
| 18 | 3,701 | 4,218 | 4,734 | 5,249 | 5,762 | 6,275 | 6,787 | 7,298 |



| Anexo N° 9 | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tabla de peso seco fuste Especie Quillay | | | | | | | | | | | |
| Función de Peso Seco Fuste $Y = \exp(0,13976+1,04795*\ln(Dap)+0,46864*\ln(Hf))$ | | | | | | | | | | | |
| DAP cm. | Alturas fustales (m.) | | | | | | | | | | |
| | 1,00 | 1,20 | 1,40 | 1,60 | 1,80 | 2,00 | 2,20 | 2,40 | 2,60 | 2,80 | 3,00 |
| pesos en kilos | | | | | | | | | | | |
| 16 | 21,0 | 22,9 | 24,6 | 26,2 | 27,7 | 29,1 | 30,4 | 31,7 | 32,9 | 34,0 | 35,2 |
| 18 | 23,8 | 25,9 | 27,8 | 29,6 | 31,3 | 32,9 | 34,4 | 35,8 | 37,2 | 38,5 | 39,8 |
| 20 | 26,6 | 28,9 | 31,1 | 33,1 | 35,0 | 36,7 | 38,4 | 40,0 | 41,6 | 43,0 | 44,4 |
| 22 | 29,3 | 32,0 | 34,4 | 36,6 | 38,6 | 40,6 | 42,5 | 44,2 | 45,9 | 47,5 | 49,1 |
| 24 | 32,1 | 35,0 | 37,6 | 40,1 | 42,3 | 44,5 | 46,5 | 48,4 | 50,3 | 52,1 | 53,8 |
| 26 | 35,0 | 38,1 | 40,9 | 43,6 | 46,0 | 48,4 | 50,6 | 52,7 | 54,7 | 56,6 | 58,5 |
| 28 | 37,8 | 41,1 | 44,2 | 47,1 | 49,8 | 52,3 | 54,7 | 56,9 | 59,1 | 61,2 | 63,2 |
| 30 | 40,6 | 44,2 | 47,5 | 50,6 | 53,5 | 56,2 | 58,8 | 61,2 | 63,6 | 65,8 | 68,0 |
| 32 | 43,5 | 47,3 | 50,9 | 54,2 | 57,2 | 60,1 | 62,9 | 65,5 | 68,0 | 70,4 | 72,7 |
| 34 | 46,3 | 50,4 | 54,2 | 57,7 | 61,0 | 64,1 | 67,0 | 69,8 | 72,5 | 75,0 | 77,5 |
| 36 | 49,2 | 53,5 | 57,6 | 61,3 | 64,8 | 68,0 | 71,1 | 74,1 | 76,9 | 79,6 | 82,3 |
| 38 | 52,0 | 56,7 | 60,9 | 64,8 | 68,5 | 72,0 | 75,3 | 78,4 | 81,4 | 84,3 | 87,1 |
| 40 | 54,9 | 59,8 | 64,3 | 68,4 | 72,3 | 76,0 | 79,4 | 82,7 | 85,9 | 88,9 | 91,9 |
| 42 | 57,8 | 62,9 | 67,6 | 72,0 | 76,1 | 80,0 | 83,6 | 87,1 | 90,4 | 93,6 | 96,7 |
| 44 | 60,7 | 66,1 | 71,0 | 75,6 | 79,9 | 84,0 | 87,8 | 91,4 | 94,9 | 98,3 | 101,5 |
| 46 | 63,6 | 69,2 | 74,4 | 79,2 | 83,7 | 88,0 | 92,0 | 95,8 | 99,5 | 103,0 | 106,4 |
| 48 | 66,5 | 72,4 | 77,8 | 82,8 | 87,5 | 92,0 | 96,2 | 100,2 | 104,0 | 107,7 | 111,2 |
| 50 | 69,4 | 75,6 | 81,2 | 86,5 | 91,4 | 96,0 | 100,4 | 104,5 | 108,5 | 112,4 | 116,1 |



| Anexo N° 10 | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tabla de peso seco Total Especie Quillay | | | | | | | | | | | |
| Función de Peso Seco Total $Y = \exp(+ 0,56361+0,90156*\ln(Dap)+0,70217*\ln(Ht))$ | | | | | | | | | | | |
| DAP cm. | Alturas totales (m.) | | | | | | | | | | |
| | 7,00 | 8,00 | 9,00 | 10,00 | 11,00 | 12,00 | 13,00 | 14,00 | 15,00 | 16,00 | 17,00 |
| pesos en kilos | | | | | | | | | | | |
| 16 | 83,9 | 92,1 | 100,1 | 107,8 | 115,2 | 122,5 | 129,6 | 136,5 | 143,3 | 149,9 | 156,4 |
| 18 | 93,3 | 102,5 | 111,3 | 119,9 | 128,1 | 136,2 | 144,1 | 151,8 | 159,3 | 166,7 | 174,0 |
| 20 | 102,6 | 112,7 | 122,4 | 131,8 | 140,9 | 149,8 | 158,5 | 166,9 | 175,2 | 183,3 | 191,3 |
| 22 | 111,8 | 122,8 | 133,4 | 143,6 | 153,6 | 163,2 | 172,7 | 181,9 | 190,9 | 199,8 | 208,5 |
| 24 | 120,9 | 132,8 | 144,3 | 155,3 | 166,1 | 176,6 | 186,8 | 196,7 | 206,5 | 216,1 | 225,5 |
| 26 | 130,0 | 142,8 | 155,1 | 167,0 | 178,5 | 189,8 | 200,7 | 211,5 | 222,0 | 232,2 | 242,3 |
| 28 | 139,0 | 152,6 | 165,8 | 178,5 | 190,9 | 202,9 | 214,6 | 226,1 | 237,3 | 248,3 | 259,1 |
| 30 | 147,9 | 162,4 | 176,4 | 190,0 | 203,1 | 215,9 | 228,4 | 240,6 | 252,5 | 264,2 | 275,7 |
| 32 | 156,7 | 172,1 | 187,0 | 201,3 | 215,3 | 228,8 | 242,1 | 255,0 | 267,7 | 280,1 | 292,2 |
| 34 | 165,5 | 181,8 | 197,5 | 212,6 | 227,4 | 241,7 | 255,7 | 269,3 | 282,7 | 295,8 | 308,7 |
| 36 | 174,3 | 191,4 | 207,9 | 223,9 | 239,4 | 254,5 | 269,2 | 283,6 | 297,6 | 311,4 | 325,0 |
| 38 | 183,0 | 201,0 | 218,3 | 235,1 | 251,3 | 267,2 | 282,6 | 297,7 | 312,5 | 327,0 | 341,2 |
| 40 | 191,7 | 210,5 | 228,6 | 246,2 | 263,2 | 279,8 | 296,0 | 311,8 | 327,3 | 342,5 | 357,4 |
| 42 | 200,3 | 220,0 | 238,9 | 257,3 | 275,1 | 292,4 | 309,3 | 325,8 | 342,0 | 357,9 | 373,4 |
| 44 | 208,9 | 229,4 | 249,2 | 268,3 | 286,9 | 304,9 | 322,6 | 339,8 | 356,7 | 373,2 | 389,4 |
| 46 | 217,4 | 238,8 | 259,4 | 279,3 | 298,6 | 317,4 | 335,8 | 353,7 | 371,2 | 388,5 | 405,4 |
| 48 | 225,9 | 248,1 | 269,5 | 290,2 | 310,3 | 329,8 | 348,9 | 367,5 | 385,8 | 403,7 | 421,2 |
| 50 | 234,4 | 257,4 | 279,6 | 301,1 | 321,9 | 342,2 | 362,0 | 381,3 | 400,2 | 418,8 | 437,0 |



| Anexo N° 11 Tabla de Peso Seco Rama Especie Quillay | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Función de Peso Seco Ramas $Y = \exp(-0,24927+0,88634*\ln(Dap))+0,90320*\ln(Hf)$ | | | | | | | | | | | |
| Dap cm. | Alturas totales (m.) | | | | | | | | | | |
| | 7,00 | 8,00 | 9,00 | 10,00 | 11,00 | 12,00 | 13,00 | 14,00 | 15,00 | 16,00 | 17,00 |
| pesos en kilos | | | | | | | | | | | |
| 16 | 52,8 | 59,5 | 66,2 | 72,8 | 79,4 | 85,8 | 92,3 | 98,7 | 105,0 | 111,3 | 117,6 |
| 18 | 58,6 | 66,1 | 73,5 | 80,8 | 88,1 | 95,3 | 102,4 | 109,5 | 116,6 | 123,6 | 130,5 |
| 20 | 64,3 | 72,5 | 80,7 | 88,7 | 96,7 | 104,6 | 112,5 | 120,2 | 128,0 | 135,7 | 143,3 |
| 22 | 70,0 | 78,9 | 87,8 | 96,6 | 105,2 | 113,8 | 122,4 | 130,8 | 139,3 | 147,6 | 155,9 |
| 24 | 75,6 | 85,3 | 94,8 | 104,3 | 113,7 | 123,0 | 132,2 | 141,3 | 150,4 | 159,5 | 168,4 |
| 26 | 81,1 | 91,5 | 101,8 | 112,0 | 122,0 | 132,0 | 141,9 | 151,7 | 161,5 | 171,2 | 180,8 |
| 28 | 86,6 | 97,7 | 108,7 | 119,6 | 130,3 | 141,0 | 151,5 | 162,0 | 172,4 | 182,8 | 193,1 |
| 30 | 92,1 | 103,9 | 115,6 | 127,1 | 138,5 | 149,9 | 161,1 | 172,2 | 183,3 | 194,3 | 205,3 |
| 32 | 97,5 | 110,0 | 122,4 | 134,6 | 146,7 | 158,7 | 170,6 | 182,4 | 194,1 | 205,8 | 217,3 |
| 34 | 102,9 | 116,1 | 129,1 | 142,0 | 154,8 | 167,4 | 180,0 | 192,5 | 204,8 | 217,1 | 229,3 |
| 36 | 108,3 | 122,1 | 135,8 | 149,4 | 162,8 | 176,1 | 189,4 | 202,5 | 215,5 | 228,4 | 241,3 |
| 38 | 113,6 | 128,1 | 142,5 | 156,7 | 170,8 | 184,8 | 198,6 | 212,4 | 226,1 | 239,6 | 253,1 |
| 40 | 118,9 | 134,1 | 149,1 | 164,0 | 178,8 | 193,4 | 207,9 | 222,3 | 236,6 | 250,8 | 264,9 |
| 42 | 124,1 | 140,0 | 155,7 | 171,3 | 186,7 | 201,9 | 217,1 | 232,1 | 247,0 | 261,9 | 276,6 |
| 44 | 129,3 | 145,9 | 162,3 | 178,5 | 194,5 | 210,4 | 226,2 | 241,9 | 257,4 | 272,9 | 288,2 |
| 46 | 134,5 | 151,8 | 168,8 | 185,7 | 202,3 | 218,9 | 235,3 | 251,6 | 267,8 | 283,8 | 299,8 |
| 48 | 139,7 | 157,6 | 175,3 | 192,8 | 210,1 | 227,3 | 244,3 | 261,3 | 278,1 | 294,8 | 311,3 |
| 50 | 144,8 | 163,4 | 181,8 | 199,9 | 217,9 | 235,7 | 253,4 | 270,9 | 288,3 | 305,6 | 322,8 |



| Anexo N° 11 | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tabla de Peso Seco Rama Especie Quillay | | | | | | | | | | | |
| Función de Peso Seco Ramas $Y = \exp(-0,24927+0,88634*\ln(Dap)+0,90320*\ln(Hf))$ | | | | | | | | | | | |
| Dap cm. | Alturas totales (m.) | | | | | | | | | | |
| | 7,00 | 8,00 | 9,00 | 10,00 | 11,00 | 12,00 | 13,00 | 14,00 | 15,00 | 16,00 | 17,00 |
| pesos en kilos | | | | | | | | | | | |
| 16 | 52,8 | 59,5 | 66,2 | 72,8 | 79,4 | 85,8 | 92,3 | 98,7 | 105,0 | 111,3 | 117,6 |
| 18 | 58,6 | 66,1 | 73,5 | 80,8 | 88,1 | 95,3 | 102,4 | 109,5 | 116,6 | 123,6 | 130,5 |
| 20 | 64,3 | 72,5 | 80,7 | 88,7 | 96,7 | 104,6 | 112,5 | 120,2 | 128,0 | 135,7 | 143,3 |
| 22 | 70,0 | 78,9 | 87,8 | 96,6 | 105,2 | 113,8 | 122,4 | 130,8 | 139,3 | 147,6 | 155,9 |
| 24 | 75,6 | 85,3 | 94,8 | 104,3 | 113,7 | 123,0 | 132,2 | 141,3 | 150,4 | 159,5 | 168,4 |
| 26 | 81,1 | 91,5 | 101,8 | 112,0 | 122,0 | 132,0 | 141,9 | 151,7 | 161,5 | 171,2 | 180,8 |
| 28 | 86,6 | 97,7 | 108,7 | 119,6 | 130,3 | 141,0 | 151,5 | 162,0 | 172,4 | 182,8 | 193,1 |
| 30 | 92,1 | 103,9 | 115,6 | 127,1 | 138,5 | 149,9 | 161,1 | 172,2 | 183,3 | 194,3 | 205,3 |
| 32 | 97,5 | 110,0 | 122,4 | 134,6 | 146,7 | 158,7 | 170,6 | 182,4 | 194,1 | 205,8 | 217,3 |
| 34 | 102,9 | 116,1 | 129,1 | 142,0 | 154,8 | 167,4 | 180,0 | 192,5 | 204,8 | 217,1 | 229,3 |
| 36 | 108,3 | 122,1 | 135,8 | 149,4 | 162,8 | 176,1 | 189,4 | 202,5 | 215,5 | 228,4 | 241,3 |
| 38 | 113,6 | 128,1 | 142,5 | 156,7 | 170,8 | 184,8 | 198,6 | 212,4 | 226,1 | 239,6 | 253,1 |
| 40 | 118,9 | 134,1 | 149,1 | 164,0 | 178,8 | 193,4 | 207,9 | 222,3 | 236,6 | 250,8 | 264,9 |
| 42 | 124,1 | 140,0 | 155,7 | 171,3 | 186,7 | 201,9 | 217,1 | 232,1 | 247,0 | 261,9 | 276,6 |
| 44 | 129,3 | 145,9 | 162,3 | 178,5 | 194,5 | 210,4 | 226,2 | 241,9 | 257,4 | 272,9 | 288,2 |
| 46 | 134,5 | 151,8 | 168,8 | 185,7 | 202,3 | 218,9 | 235,3 | 251,6 | 267,8 | 283,8 | 299,8 |
| 48 | 139,7 | 157,6 | 175,3 | 192,8 | 210,1 | 227,3 | 244,3 | 261,3 | 278,1 | 294,8 | 311,3 |
| 50 | 144,8 | 163,4 | 181,8 | 199,9 | 217,9 | 235,7 | 253,4 | 270,9 | 288,3 | 305,6 | 322,8 |



En el contexto del convenio suscrito entre la Corporación Nacional forestal VI Región y la Universidad de Ciencias y Tecnología (UNICIT), la Oficina Provincial Cachapoal encargó a la Escuela de Ingeniería Forestal de la UNICIT el desarrollo de funciones de biomasa y su respectivo ajuste para la estimación de producción de hojas y corteza en la especie Boldo, y de Leña de la especie Quillay, tanto de fuste como de ramas mayores.

La elaboración de estas funciones, se realizó sobre la base de las condiciones contractuales definidas por CONAF en un protocolo de acuerdo entre las partes.

El estudio permitió seleccionar las funciones y ser aplicables a situaciones homólogas en la Provincia de Cachapoal. De igual forma, se establecieron los factores de conversión para obtener el peso seco a partir del peso verde, en ambas especies.

Se adjuntan como resultados, los modelos estadísticos ensayados, los respectivos coeficientes de determinación, bondad del ajuste y la cartografía correspondiente a la superficie estudiada.

En este estudio se probaron distintas funciones matemáticas y solo los modelos alométricos proporcionaron resultados válidos. Lo anterior fue confirmado mediante la extrapolación de las funciones seleccionadas fuera de los rangos considerados en los ajustes respectivos. Las funciones multivariadas y las funciones comunes (lineal, exponencial, potencial y logarítmica) arrojaron en la mayoría de los casos resultados anormales e ilógicos, a pesar de que algunas presentan buenos parámetros estadísticos, y solo en contadas ocasiones estas funciones podrían ser validadas al aumentar la base muestral.

En este sentido, para situar los resultados, es necesario tener presente la diferencia que existe entre una función matemática y un modelo matemático biológico, sobre lo que tratan las funciones alométricas, siendo la estadística un instrumento indispensable para establecer las diferencias y validar los procedimientos, pero no siempre lo estadísticamente significativo es lo correcto.

En conclusión, el resultado de este estudio indica que los modelos alométricos seleccionados que se muestran a continuación, son los que proporcionan las estimaciones de mayor confiabilidad estadística y biológica y en los Anexos N° 6 a 11 se entregan las tablas con el desarrollo de ellas, para facilitar su aplicación posterior.



| Cuadro I Funciones de Biomasa Seleccionadas (peso seco) según producto, especie Quillay. Predio Los Trichahues, Rengo. 2004 | |
|--|---|
| Producto | Función |
| Ramas | $Y = \exp [0,13976 + 1,04795*\ln(Dap) + 0,46864*\ln(Hf)]$ |
| Fuste | $Y = \exp [0,24927 + 0,88634*\ln(Dap) + 0,90320*\ln(Ht)]$ |
| Total | $Y = \exp [0,56360 + 0,90150*\ln(Dap) + 0,70210*\ln(Ht)]$ |

| Cuadro II Funciones de Biomasa Seleccionadas (peso seco) según producto, especie Boldo. Predio Parc. 163 Colonia P.A. Cerda, San Vicente 2004 | |
|--|--|
| Producto | Función |
| Hojas | $Y = \exp [-3,38121 + 1,53474*\ln(Dap) + 0,46378*\ln(Ht)]$ |
| Corteza | $Y = \exp [-6,42692 + 0,99551*\ln(Dap) + 2,25843*\ln(Ht)]$ |
| Total | $Y = \exp [-3,99524 + 1,4035*\ln(Dap) + 0,97971*\ln(Ht)]$ |

Por su parte, los rangos de aplicación de los modelos y funciones seleccionados, teóricamente, deben ser los mismos rangos de la base de datos respectivos, es decir:

| Cuadro III Rango de Aplicación de las Funciones Alométricas Seleccionadas, especie Quillay | | | |
|---|------------|------------|-----------|
| Valor | Dap | Dat | Ht |
| Mínimo | 16 | 28 | 6,8 |
| Máximo | 48 | 68 | 19,0 |

| Cuadro IV Rango de Aplicación de las Funciones Alométricas Seleccionadas, especie Boldo | | | |
|--|------------|------------|-----------|
| Valor | Dap | Dat | Ht |
| Mínimo | 2,5 | 5,0 | 0,5 |
| Máximo | 17,0 | 33,0 | 5,2 |

La conversión de peso verde a peso seco, para ramas, fuste y peso total en la especie Quillay, y para hojas, corteza y peso total en la especie Boldo se entregan a continuación, junto a la varianza y desviaciones estándar de los productos de las especies estudiadas, de los cuales se puede inferir que los promedios generales observados son una buena estimación de la pérdida de contenido de humedad, por cuanto estos parámetros estadísticos son bajos.

Con relación a la pérdida de humedad de los diferentes componentes de la biomasa, se concluyó que no existe una buena correlación estadística entre los



parámetros dasométricos analizados (Dap, Dat, Hf, Ht) y los porcentajes de pérdida de humedad, en los productos de ambas especies.

| Cuadro V Relación Porcentual entre Peso Seco y Peso Verde según producto, especie Quillay. Predio Los Tricahues, Rengo. 2004 | | | |
|---|-----------------|-----------------|----------------------------|
| Producto | Promedio | Varianza | Desviación estándar |
| Ramas | 61,24 % | 0,002919 | 5,40 % |
| Fuste | 54,07 % | 0,002411 | 4,91 % |
| Peso Total | 58,79 % | 0,002205 | 4,70 % |

| Cuadro VI Relación Porcentual entre Peso Seco y Peso Verde según producto, especie Boldo. Predio Parc. 163 Colonia P.A. Cerda, San vicente 2004 | | | |
|--|-----------------|-----------------|----------------------------|
| Producto | Promedio | Varianza | Desviación estándar |
| Hojas | 41,46 % | 0,007400 | 8,60 % |
| Corteza | 44,65 % | 0,007098 | 8,43 % |
| Peso Total | 41,31 % | 0,002274 | 4,77 % |