



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

**FUNCIONES DE BIOMASA PARA LA ESPECIE QUILLAY
(Quillaja saponaria MOL.) EN LOCALIDADES DE LA VII REGIÓN**

PATRICIO ALEJANDRO DURÁN MÉNDEZ

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

PROFESOR GUÍA: M. Sc. OSCAR SANTIAGO VALLEJOS BARRA

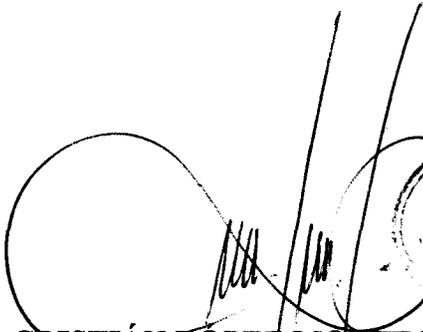
TALCA – CHILE

2002

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

El alumno Sr. Patricio Alejandro Durán Méndez, ha realizado la Tesis “Funciones de Biomasa para la especie Quillay (Quillaja saponaria mol.) en localidades de la VII Región” como uno de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. El profesor guía es el profesor Sr. Oscar Santiago Vallejos Barra.

La comisión de calificación, constituida por los Sres. Pablo Aracena Gatica, Rodolfo Neuenschwander Alvarado y Oscar Bustos Letelier evaluó la tesis con una nota de 5,7 (cinco coma siete).


CRISTIÁN LOPEZ MONTECINOS
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL



AGRADECIMIENTOS

Quisiera dejar constancia de mi agradecimiento en primer lugar a la Sra Nilda Rojas, a la Empresa agrícola Stremar Ltda. y al Profesor Luis Carrasco de la Corporación Nacional Forestal, por todo su apoyo prestado al momento de recolectar los datos en terreno.

Agradecimientos especiales al Señor José Luis Torres quien generosamente entregó todos sus conocimientos para complementar este estudio. También a la Srta. Yazna López por contribuir a la redacción final y presentación, y al Profesor Señor Pablo Aracena, quien colaboró afinando detalles del presente estudio.

Finalmente y eternamente agradecido a mi Profesor Guía, Señor Oscar Vallejos Barra, quien iluminó el camino para finalizar esta Tesis y ver culminado un gran anhelo personal.

DEDICATORIA

**A mis Padres y hermanos
mi esposa Andrea y
mis futuros hijos,
quienes han sido el apoyo,
la motivación y fuente de inspiración
del éxito logrado.**

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO		PÁGINA
1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVO	
	2.1 Objetivo General	4
3	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
	3.1 Definición de Biomasa	5
	3.1.1 Componentes	5
	3.2 Determinación de la muestra	6
	3.3 Determinación del peso seco	7
	3.4 Antecedentes sobre el método de mínimos cuadrados	7
	3.4.1 Pruebas de hipótesis para los coeficientes de regresión y confiabilidad de modelos	8
	3.4.1.1 Prueba t	9
	3.4.1.2 Prueba F	9
	3.4.2 Supuestos del método de mínimos cuadrados	10
	3.5 Construcción de Modelos	12
4	MATERIALES Y METODOS	
	4.1 Materiales	16
	4.1.1 De Terreno	16
	4.1.2 De Laboratorio	16
	4.2 Metodología	17
	4.2.1 Lugar de Estudio	17
	4.2.2 Recolección y tamaño de la muestra	18
	4.2.3 Trabajo en terreno	18
	4.2.4 Trabajo de Laboratorio	19
	4.2.5 Análisis Estadístico	20
	4.2.5.1 Obtención de modelos	21
5	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
	5.1 Selección del modelo para el componente fuste	27
	5.2 Selección del modelo para el componente corteza	27
	5.3 Selección del modelo para el componente ramas	28
	5.4 Selección del modelo para el componente ramillas	29
	5.5 Selección del modelo para el peso total	29
6	CONCLUSIONES	31
7	BIBLIOGRAFÍA	35

INDICE DE CUADROS Y APÉNDICES

CUADRO		PÁGINA
1	Modelos de biomasa desarrollados en el País por componente y total según especie	14
2	Estadística descriptiva de la información utilizada en el presente estudio	22
3	Modelos preseleccionados según componente y total	24
<hr/>		
APÉNDICE		
I	Información de terreno	37
	Información de laboratorio	38
II	SALIDAS DE REGRESIÓN FUSTE	
	Peso Seco	40
	Peso Verde	43
III	SALIDAS DE REGRESIÓN CORTEZA	
	Peso Seco	47
	Peso Verde	50
IV	SALIDAS DE REGRESIÓN RAMAS	
	Peso Seco	54
	Peso Verde	57
V	SALIDAS DE REGRESIÓN RAMILLAS	
	Peso Seco	61
	Peso Verde	64
VI	SALIDAS DE REGRESIÓN TOTAL	
	Peso Seco	68
	Peso Verde	71

RESUMEN

Chile ha sido históricamente el primer productor mundial de corteza de quillay (Quillaja saponaria Mol.), producción que hasta hoy ha generado en los países industrializados un gran interés por adquirirla debido al componente activo denominado saponina.

Lo anterior ha significado una explotación desmesurada de la especie que de seguir las tendencias actuales podría significar su extinción a futuro.

El presente estudio busca como objetivo obtener funciones de biomasa aérea de la especie quillay en localidades de la VII Región con la clara intención de aportar una mayor cantidad de antecedentes técnicos y de esta manera mejorar el manejo de la especie disminuyendo la sobreexplotación que actualmente sufre.

Para lograr este objetivo se midieron variables en pie de 25 árboles, los que se voltearon y separaron por componente para inmediatamente obtener su peso verde y posteriormente su peso seco. Luego se relacionaron las variables medidas en pie con el peso verde y seco de cada árbol utilizando un software estadístico que permite obtener resultados exactos, confiables y con gran rapidez.

Se preseleccionó 1 función por cada modelo y por cada componente en su estado verde y seco, y a cada una de ellas se le comprobó los supuestos de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), obteniéndose así, la función que mejor estime biomasa en la especie Quillay.

Para evaluar resultados se comparó con otros estudios similares que obtenían funciones de biomasa, pero que poseen la desventaja de utilizar sistemas estadísticos manuales, los cuales, no podían analizar todas las alternativas posibles en la generación de una función y tampoco calcular los supuestos de MCO.

Para todos los casos se lograron obtener funciones de biomasa que cumplieran los supuestos de MCO con niveles de confiabilidad entre 85 % en los mejores casos y un 33 % en los peores, lográndose así el objetivo propuesto.

SUMMARY

Historically, Chile has been the main soapbark of Quillay (Quillja saponaria Mol), bark producer worldwide. As the middle of last century until now, industrial countries have been interested in acquiring this product due to the active component named saponina.

It has meaning so exploitation such great of the species who follow the actually tendency could be to extinct at the future.

This research have as objective to find aerial biomass functions of Quillay species in special places of the VII Region in Chile with the clear sense to contribute larger technical antecedent so improve the handling of the species reducing the great utilization what has in all moment.

To obtain this objective so such, it's having to measuring on foot variables about 25 trees and it's was overturned and separated by component to inmediately get the green weith and later his drying weith. Then relate the measuring on foot variables with the dry and green weith, using a statistical software, in this form we can to obtained or procured results very precises, trustly and so quickly.

After it's have to seed one function by every model and by every component on dry or green states, and one by one check the assumption of the Minimal Ordinary Squares (MOS) getting for the better function to biomass in the quillay.

To evaluate the results obtained, it's look at any comparision with another such studies who has functions of biomass but they have a disvantage to use same statistical sistem handly, wich it's don't have to be able to analize or explore possibles changes in one function and either to have a calculation over MOS assumptions.

For every cases we obtained biomass functions who keep the assumptions of the MOS with level confiabilities between 85 % in the better cases or 33 % in the worse moments, having so the propose objectives.

1 INTRODUCCIÓN

El quillay (Quillaja saponaria Mol.), es una especie arbórea nativa de nuestro país, que pertenece al tipo forestal Esclerófilo, encontrándose principalmente en el subtipo forestal de "rodales mixtos de especies arbóreas Esclerófilas". Este subtipo ocupa las altitudes medias de los faldeos occidentales de ambas cordilleras y de los faldeos orientales de la costa, así como las áreas bajas del sur del río Laja hasta la latitud de Collipulli (Donoso, 1981).

Según Pérez (1983) esta especie se adapta a climas secos y cálidos y por ello es posible encontrarla en toda la zona central en sitios muy variados, desde los potreros fuertemente asoleados, hasta las partes más altas de los cerros, más o menos secos y con poca vegetación. En sitios más frescos, húmedos, profundos y planos su crecimiento es acelerado, soporta la nieve y largos períodos de sequía. Por sus características normales de desarrollo se puede calificar como una especie intolerante. Forma masas puras abiertas, también crece en mezcla con otras especies, tales como litre, peumo, boldo, maitén entre otros.

De esta especie es posible extraer un compuesto químico llamado saponina, triterpeno que produce soluciones jabonosas en agua, la cual ha sido cotizada desde principios del siglo pasado, por sus múltiples usos industriales utilizándose como detergente en el rubro textil, sustituto del jabón, productor de espuma en las bebidas, encolados, cosméticos, agente emulsionante de grasas y aceites, protector de suspensiones coloidales, dentífricos, reveladores fotográficos y posiblemente en propelentes (Neuenschwander, 1965).

Además, esta especie ofrece otras posibilidades para su utilización comercial tales como: su aptitud melífera, su madera apta para preparar carbón vegetal y muy

especialmente, por su capacidad para crecer en asociaciones abiertas, mezclada con empastadas, que permiten una explotación silvopastoral mixta (Alvarez de Araya, 1979).

Según Neuenschwander (1965) citado por Prado y Aguirre (1987), las explotaciones de comienzo del siglo pasado (300 toneladas de corteza explotadas en promedio por año), le siguió un notable incremento a principios de este siglo, llegándose a cifras de 2.100 toneladas por año. Sin embargo, esta producción se estabilizó en promedio en unas 1.000 toneladas de corteza por año en la década del 60 (Prado y Aguirre, 1987).

La extracción de quillay realizada sin técnicas ni controles adecuados, unidas a un sobrepastoreo, limitan fuertemente la regeneración de la especie, provocando una disminución progresiva de ésta, especialmente en la parte norte de su área de distribución en Chile.

El mayor valor comercial del quillay se encuentra en la corteza, aquí es donde se encuentra el mayor porcentaje de saponina, por lo cual es este componente el que se extrae en grandes trozos llamados trolas y se exportan como tal. Estas dimensiones son una exigencia del mercado, implicando que toda la corteza de las ramas que tienen menos de 15 cm. de diámetro es normalmente desechada, desperdiciándose gran cantidad de materia prima útil.

Según Toral y Rosende (1986), citados por Vita (1989), sería interesante desarrollar sistemas silvícolas que permitan utilizar en forma más integral el recurso, con miras a darle un mayor aprovechamiento a la materia prima desperdiciada. Además, se disminuiría en cerca de un 90% la superficie de bosques y matorrales de quillay ha explotar para mantener la demanda actual o bien aumentar la oferta siendo éste un paso fundamental para la protección de la especie.

El presente trabajo desarrollará funciones de biomasa aérea para esta especie, lo que permitirá estimar el peso verde y seco por componentes y total, cuantificando el recurso bosque en términos de su peso.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar la función que prediga con mayor exactitud la biomasa en estado verde y seco del fuste, ramas, ramillas, corteza y total en la especie Quillaja saponaria Mol. en la localidad de San Rafael, VII Región.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Definición de Biomasa

McClure *et al.* (1981) citados por Lineros (1986), definen la biomasa como "el peso verde de madera y corteza sobre el nivel del suelo de todo árbol vivo, de 1.0 pulgada y más de diámetro a la altura del pecho". En cambio Clarke (1986) define a la biomasa como: "el peso seco de todas las partes vivas del árbol". Pese a las diferencias en la definición de biomasa por parte de estos autores, en la presente investigación, se analizará la biomasa aérea tanto para el peso verde como seco de todos los componentes del árbol.

Según Prado y Alarcón (1991) frecuentemente el peso verde de los árboles varía tanto por la acumulación de biomasa como por las condiciones climáticas reinantes. Debido a lo anterior se afecta la disponibilidad de agua, de modo que, la mayoría de los estudios obtienen en forma adicional el peso seco de los árboles con el fin de reducir las posibles variaciones del contenido de humedad.

3.1.1 *Componentes*

Los componentes del árbol se determinan según el análisis particular de cada estudio. A continuación se presentan algunos ejemplos, donde se ha estudiado la biomasa de la especie quillay.

En diversos estudios realizados por Toral, citado por Vita (1989), se determinó los componentes (fuste, ramas, corteza y hojas) y la participación de cada uno de ellos en la biomasa total del árbol, en regiones mediterráneas semiáridas y subhúmedas de Chile.

Prado y Aguirre (1987), en un estudio para las Regiones V, VI y VII adicionan el componente ramillas (incluye hojas y frutos), a los previamente definidos por Toral.

3.2 Determinación de la Muestra

Los árboles muestras, en cualquier estudio de biomasa, deben cumplir ciertas condiciones, las cuales son: ser representativos de su clase de Dap, ser individuos dominantes o codominantes, que en lo posible no estuviesen bifurcados a poca altura y que no presenten daños manifiestos por el viento, plagas u otras causas.

El número de árboles considerados (unidades muestrales) en cada investigación presentan variaciones, a modo de ejemplo Lineros (1986) estima como suficiente una muestra de 40 árboles, lo cual concuerda con Prado **et al.** (1987) y con Prado y Alarcón (1991). Sin embargo; Toral **et al.** (1988), utilizaron una muestra de 25 árboles en forma tal, que se distribuyeran en 25 clases de diámetro.

Otro aspecto en que coinciden la mayoría de los autores es sobre la selección de individuos, que tiene por objetivo dar una mayor probabilidad de selección a aquellas clases diamétricas de mayor frecuencia y de diámetros mayores. Prado y Aguirre (1987), distribuyeron 25 árboles en clase de Dap específicas y los restantes 25 árboles en forma aleatoria. Prado **et al.** (1987), seleccionaron 25 árboles en clases de Dap específicas y los 15 restantes al azar. Prado y Alarcón (1991), distribuyeron la muestra al azar en las distintas clases diamétricas, pero con una probabilidad proporcional prefijada, de modo de favorecer la selección de árboles de mayor volumen.

3.3 Determinación del Peso Seco

En términos prácticos, sería imposible secar un árbol completo para la determinación de su peso seco, de modo que se debe seccionar cada árbol muestra y mediante técnicas estándares de secado (temperatura, horas, etc) obtener el peso seco de dichos componentes. El peso seco del árbol se obtendrá usando proporciones, tales como la siguiente:

$$\text{Peso seco del árbol} = \frac{\text{Peso seco secciones}}{\text{Peso verde secciones}} * \text{Peso verde del árbol}.$$

Johnstone y Peterson (1980), citados por Lineros (1986), mencionan que para estimar la masa seca de componentes fustales para un tipo de coníferas en Canadá se obtuvieron dos rodelas de 2 a 5 cm. de espesor, ubicadas en el Dap y la otra en la base de la copa. Schlaegel (1982), citado por Lineros (1986), en un estudio para Acer negundo, consideró rodelas de 2,5 cm. de espesor a intervalos de 0,9 m. para árboles menores o iguales a 11,4 cm. de Dap y a intervalos de 1,5 m. para árboles mayores a 11,4 cm. de Dap. Prado y Aguirre (1987), utilizaron 4 a 6 discos de 5 cm. de espesor para componentes fustales como de ramas. Sin lugar a dudas, a mayor cantidad de rodelas registradas se obtendrá mayor exactitud de la estimación del peso seco.

3.4 Antecedentes sobre el Método de Mínimos Cuadrados

El análisis de regresión, el cual es el estudio de la dependencia lineal entre una(s) variable(s) de más fácil medición (variables dasométricas de terreno) con una variable de difícil medición (peso verde o seco de los componente o del árbol total), permitirá una estimación de la variable de difícil medición en relación a la(s) de fácil medición.

El objetivo del análisis de regresión es determinar los coeficientes de regresión basado en un método matemático conocido como de Mínimos Cuadrados Ordinarios, el cual ajusta una curva donde la suma de los residuos al cuadrado es mínima; por consiguiente, permitirá un error normal más pequeño posible en el cálculo (Bruce y Schumacher, 1965).

Para una muestra dada, el método de mínimos cuadrados genera estimativos únicos de los coeficientes de regresión que producen el valor más pequeño posible de los errores elevados al cuadrado. Una justificación adicional para el método de mínimos cuadrados es el hecho de que los estimadores obtenidos tienen propiedades muy deseables desde el punto de vista estadístico, como lo es en cuanto al insesgamiento, consistencia y eficiencia (Gujarati, 1992).

3.4.1 Prueba de Hipótesis para los Coeficientes de Regresión y Confiabilidad de Modelos

La teoría de pruebas de hipótesis se preocupa por desarrollar reglas o procedimientos para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula.

Para el caso de la presente investigación, la manera más adecuada de analizar los resultados es a través del enfoque de la prueba de significancia, la cual es un procedimiento mediante el cual se utilizan los resultados de la muestra para verificar la veracidad o falsedad de una hipótesis. La idea fundamental detrás de las pruebas de significancia consiste en utilizar un estadístico de prueba (estimador) y la distribución muestral de dicho estadístico bajo la hipótesis nula. La decisión de rechazar o no la hipótesis nula, se toma sobre la base del valor del estadístico estimado a partir de la información obtenida.

En primer lugar para preseleccionar un modelo, es necesario docimar la significancia estadística de los coeficientes de regresión de cada función ajustada a través del test "t".

Posteriormente, se debe docimar la significancia estadística del modelo general a través del test "F". La prueba de algún coeficiente de regresión no significativo o la no significancia del estadígrafo "F" debería ser causa de eliminación de la función analizada.

3.4.1.1 Prueba t

Por medio de esta prueba, se determina si el parámetro estimado $\left(\hat{b}\right)$ es significativamente distinto de un cierto valor poblacional β .

Las hipótesis a docimar son las siguientes:

- | | |
|-----------------------|---|
| $H_0: \beta_i = 0$ | El aporte de la variable explicativa asociada a cada parámetro β_i no es significativo. |
| $H_a: \beta_i \neq 0$ | El aporte de la variable explicativa asociada a cada parámetro β_i es significativo. |

3.4.1.2 Prueba F

Dicha prueba permite evaluar la confiabilidad global del modelo obtenido, se prueba si la veracidad de la variable dependiente, es explicada significativamente por la(s) variable(s) independiente(s) del modelo de regresión a un determinado nivel de significancia.

Las hipótesis a docimar son las siguientes:

- | | |
|---------------------|--|
| $H_0: \beta = 0$ | El modelo establecido no es significativo. |
| $H_a: \beta \neq 0$ | El modelo establecido es significativo. |

3.4.2 *Supuestos del Método de Mínimos Cuadrados*

Según Gujarati (1992), el análisis de regresión está basado en varios supuestos que se deben cumplir para que los parámetros muestrales establezcan una correcta inferencia acerca de los verdaderos valores de los parámetros poblacionales. Para la siguiente investigación los supuestos más relevantes son:

1. **Normalidad en la distribución de los residuos:** La regresión lineal normal clásica supone que cada residuo está distribuido normalmente con una media o valor esperado igual a cero y una varianza constante, esto implica una independencia entre las variables. En consecuencia, con el supuesto de normalidad se plantea que los residuos no solamente no están correlacionados, sino que también, están distribuidos en forma independiente (Gujarati, 1992).

Según Gujarati (1992), cuando el supuesto de normalidad se cumple, los estimadores de los parámetros de la regresión y de la varianza presentan las siguientes características:

- a. Son insesgados
 - b. Tienen varianza mínima
 - c. Son consistentes
 - d. Los coeficientes de los parámetros poblacionales están normalmente distribuidos
 - e. La varianza de los coeficientes de regresión es mínima
2. **Homocedasticidad o igual varianza entre los residuos:** Un supuesto importante del modelo clásico de regresión lineal es que la varianza de cada término de la perturbación, condicional a los valores escogidos de las variables explicativas, es un número constante e igual a la misma varianza (Gujarati, 1992).

Cuando este supuesto no se cumple, los estimadores siguen siendo insesgados y consistentes, pero ya no son eficientes para ningún tamaño de muestra, es decir, su varianza ya no es mínima.

Gregoire y Dyer (1989), mencionan que para modelar la heterogeneidad de varianzas es necesario tener datos medidos a cada nivel de la variable independiente. De lo contrario, es necesario dividir la muestra en intervalos arbitrarios uniformes (igual amplitud) y pequeños, y tomar una muestra grande para estimar bien el patrón de varianza.

3. **Falta de multicolinealidad entre las variables independientes:** El término multicolinealidad se refiere a la existencia de más de una relación lineal exacta entre las variables explicativas (Gujarati, 1992).

El problema de la multicolinealidad es de grado y no de tipo. La distinción significativa no es entre la presencia y la ausencia de multicolinealidad, sino entre sus diferentes grados y magnitudes. Si la multicolinealidad es perfecta, los coeficientes de regresión de la variable explicativa son indeterminados y sus errores estándar son infinitos, por otra parte, si la multicolinealidad es alta los coeficientes de regresión, aunque se pueden determinar, poseen errores estándar demasiado grandes (en relación con los coeficientes), lo cual implica, que los coeficientes no se pueden estimar con gran precisión, por lo tanto, son ineficientes (Gujarati, 1992).

Las consecuencias de alta multicolinealidad son:

- a. Las varianzas y covarianzas son amplias para los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios
- b. Intervalos amplios de confianza para los parámetros poblacionales debido a la presencia de errores estándar grandes.

- c. Razones t no significativas debido a que los errores estándar aumentan drásticamente disminuyendo con esto los valores t, en tales casos se tiende a aceptar con mayor facilidad la hipótesis nula de que el verdadero valor poblacional relevante es cero.
- d. Un valor elevado para el coeficiente de determinación, pero pocas razones t significativas.

Para solucionar el problema de multicolinealidad se pueden intentar las siguientes reglas generales:

- a. Obtener mayor información.
- b. Eliminación de una(s) variable(s) explicativa colineal.
- c. Transformación de variables

La eliminación de una(s) variable(s) explicativas colineal, es la alternativa más recomendada en la obtención de modelos de regresión.

3.5 Construcción de Modelos

Es posible definir un sin número de modelos, según la dependencia lineal entre las variables. Un resumen de modelos de biomasa se presenta en el Cuadro 1.

En la investigación llevada a cabo por Prado y Aguirre (1987), compararon los coeficientes de determinación (los cuales variaron entre 0,86 y 0,96), los errores cuadráticos medios y la proporción de observaciones con errores menores al 10, 15, y 20%. También consideraron la presencia de sesgos. Entre todos estos indicadores se dio mayor importancia al error cuadrático medio, ya que incluye la totalidad de los errores aleatorios y sistemáticos, y por lo tanto, se constituye en el mejor indicador de la exactitud de la función.

En el estudio realizado Toral *et al.* (1988) sólo utilizaron el coeficiente de determinación (los cuales variaron entre 0,78 y 0,96) y el error estándar de estimación.

Prado y Alarcón (1991), usaron los mismos indicadores citados por Prado y Aguirre (1987). La estimación del peso de hojas y ramillas resultaron ser las más imprecisas con errores superiores al 25%, debido a la gran variabilidad que presenta esta especie en cuanto a la forma y desarrollo de la copa, especialmente cuando crece con un espaciamiento variable y sin manejo.

Cuadro 1: Modelos de biomasa desarrollados en el país por componentes y total según especie.

<i>ESPECIE</i>	<i>AUTOR Y AÑO</i>	<i>COMPONENTES</i>	<i>MODELOS</i>	<i>R²</i>	<i>EEE (%)</i>
<i>quillay</i>	Prado y Aguirre (1987)	Fuste	$Y = a + b * Dap^2 * Ht$	92.0	36.7
		Ramas	$Y = a + b * Dap * Ht * Nr + c * Dap$	93.0	29.3
		Ramillas	$Y = a + b * Dap + c * Db$	88.0	29.6
		Corteza comercial	$Y = a + b * Db^2 * Ht + c * Db^2 + d * Db - c * Ht$	86.0	43.8
		Corteza total	$Y = a + b * Db^2 * Ht$	94.0	27.6
		Árbol total	$Y = a + b * Dap^2 + c * Db^2$	96.0	22.6
<i>boldo</i>	Torales (1988)	Fuste	$Ln Y = a + b Ln(Ht) + c Ln(Dap^2 * Ht)$	96.0	s.i.
		Ramas	$Ln Y = a + b Ln(Dap) + c Ln(Dap^2 * Ht)$	91.0	s.i.
		Hojas	$Ln Y = a + b Ln(Dap) + c Ln(Dap^2 * Ht)$	78.0	s.i.
		Corteza	$Ln Y = a + b Ln(Dap) + c Ln(Dap^2 * Ht)$	92.0	s.i.
		Árbol total	$Ln Y = a + b Ln(Dap) + c Ln(Dap^2 * Ht)$	95.0	s.i.
<i>Eucalyptus globulus</i>	Prado y Alarcón (1991)	Fuste	$Y = a + b * Dap^2 * Ht$	98.0	10.3
		Ramas	$Y = a + b * Dap + c * Dap^2 * Ht$	73.0	89.7
		Ramillas	$Ln Y = a + b Ln(Ht) + c Ln(Dap^2 * Lc)$	92.0	26.8
		Corteza	$Ln Y = a + b Ln(Dap^2 * Ht)$	98.0	10.8
		Hojas	$Ln Y = a + b Ln(Ht) + c Ln(Dap^2 * Lc) + d Ln(Dic^2 * Icv)$	94.0	26.7
		Árbol total	$Y = a + b * Dap^2$	98.0	10.9

Donde:

Y	=	peso seco
a	=	constante de regresión
b, c, d	=	coeficientes de regresión
Dap	=	diámetro a la altura del pecho (cm)
Db	=	diámetro en la base del árbol (cm)
Dic	=	diámetro al inicio de copa (cm)
Ht	=	altura total (m)
Lc	=	largo de la copa (m)
Icv	=	altura hasta inicio de la copa viva (m)
Nr	=	número de ramas
S.i.	=	sin información

En estudios donde se emplean distintos modelos para cada componente, las funciones no son aditivas (Kozak, 1970; citado por Prado **et al.**, 1987), es decir, la suma de las estimaciones de los componentes no es igual a la estimación del peso total. Aun cuando las diferencias producidas por lo general son despreciables.

4 MATERIALES Y MÉTODO

4.1 Materiales

Los materiales utilizados se subdividen en materiales de terreno y de laboratorio, descritos a continuación.

4.1.1 De Terreno

En cuanto a la información de terreno se utilizaron los siguientes equipos:

- Huincha diamétrica con una precisión al mm.
- Hipsómetro Blume Leiss, con una precisión a 0.5 m.
- Huincha de distancia de 50 m, con una precisión al mm.
- Romana marca Cóndor, con capacidad de 500 kg.
- Balanza de torsión, con capacidad de 10 kg.
- Motosierra
- Hacha
- Otros como: bolsas plásticas y de papel, elementos de marcar (plumones, lápices de tinta y tiza blanca) y material de registro.

4.1.2 De Laboratorio

Para el trabajo de laboratorio se utilizó el perteneciente al Departamento de Tecnología e Industria de la Madera de la Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad de Talca, los cuales son:

- Estufa de secado marca Memmert, capacidad aproximada de 0,03 m³

- Estufa de secado marca Precisión, capacidad aproximada de 0,03 m³
- Balanza electrónica Sartorius, capacidad de 4000 gramos + 0,1 gramo

4.2 Metodología

4.2.1 Lugar de estudio

La información del presente estudio se recolectó en árboles del fundo Santa Mónica (entre las coordenadas 264-266 latitud norte y 6092-6094 latitud sur), N° de rol 121-98, ubicados aproximadamente a 10 km. al noroeste de San Rafael en la Provincia de Talca, VII Región.

El área de estudio abarca una zona aproximada de 20 hectáreas. Esta zona posee lomajes suaves y una quebrada intermitente de 4 a 5 metros de altura, que divide la zona en dos polígonos similares. En laderas de exposición norte con, afloramiento rocoso leve y un horizonte vegetal delgado, se encuentran especies como: Lithraea cáustica y Colliguaya odorífera, arbustos y yerbas menores y en menor cantidad Quillaja saponaria, mientras que en las laderas de exposición sur, con suelos de una profundidad levemente mayor a la anterior se encuentran especies como: Peumus boldus, Acacia caven, Maytenus boaria y en mayor proporción que en la ladera norte, Quillaja saponaria. En la quebrada existente domina Cryptocaria alba y en su curso superior acompañan a esta especie en menor abundancia Quillaja saponaria.

Los individuos de quillay presentes en todas las ubicaciones son en su mayoría adultos y de monte bajo. Poseen una distribución espacial dispersa y, rara vez, se encuentran masas puras. La generalidad de estos individuos poseen buen estado sanitario. La regeneración natural es casi inexistente debido al sobrepastoreo.

4.2.2 *Recolección y tamaño de la muestra*

El fundo en estudio posee 1235,2 hectáreas, . La determinación de la amplitud de la clase diamétrica, así como el número de éstas se realizó en terreno dependiendo del diámetro mayor encontrado.

Por restricciones de orden presupuestario, la presente investigación consideró 25 árboles, de los cuales 15 individuos fueron distribuidos homogéneamente entre las clases diamétrica y 10 distribuidos en forma aleatoria, con una probabilidad proporcional al área basal existente en cada clase de Dap.

4.2.3 *Trabajo en terreno*

Una vez en terreno se procedió a marcar los árboles seleccionados por clase diamétrica, midiéndose en pie las siguientes variables:

- Diámetro a la altura del pecho en cm (Dap)
- Diámetro basal en cm (Db) (a 30 cm del suelo)
- Altura total en m (Ht)
- Número de ramas principales (entre 3 y 15 cm) (Nr)
- Área de copa en m² (Ac)

Una vez volteado cada árbol, se procedió a subdividirlo en los respectivos componentes. Se definieron los componentes de igual modo que en la investigación llevada a cabo por Prado y Aguirre (1987), siendo los siguientes:

1. **Fuste (F):** comprende el tronco principal y todas sus ramificaciones hasta un diámetro sin corteza de 15 cm.

2. **Corteza (C):** corresponde a la parte útil de la corteza (peridermis) presente en el fuste.
3. **Ramas (R):** ramas principales y secundarias con un diámetro con corteza entre 3 y 15 cm.
4. **Ramillas (Rs):** ramas secundarias con diámetro con corteza inferior a 3 cm. Este componente incluyó hojas y frutos.

Una vez separados los cuatro componentes se pesaron cada uno de ellos, ya sea en la romana para los componentes mayores, o bien utilizando una balanza de torsión para los menores. La adición de todos los componentes determinó el peso total, tanto seco, como verde de cada árbol.

Para establecer una relación peso seco / peso verde, se tomaron muestras de cada componente y se pesaron inmediatamente en terreno, con una balanza de torsión. Para el caso del fuste y ramas mayores se obtuvieron 2 rodelas de 2 a 5 cm de espesor; una a la altura del Dap, y la otra a la base de la copa.

Posteriormente cada una de las muestras pesadas se expusieron a secado natural para disminuir su posterior tiempo de secado artificial en el laboratorio.

4.2.4 Trabajo de laboratorio

Las muestras obtenidas de cada árbol se clasificaron y anotaron claramente en una hoja de registro y posteriormente se trasladaron desde el lugar de terreno hasta el laboratorio. El proceso de secado artificial se realizó en estufas eléctricas a temperaturas cercanas a los 103 °C hasta obtener peso constante. Los tiempos de secado variaron dependiendo de las dimensiones de los componentes, lográndose así su masa anhidra, la cual fue registrada a través de una balanza electrónica.

4.2.5 Análisis estadístico

Para determinar las funciones que expresen la relación entre las dimensiones del árbol (tal como fueron medidas, combinadas o transformadas) y el peso verde y seco de sus componentes y total se utilizó el procedimiento Stepwise del software estadístico Statgraphics Plus.

Luego, se comprobaron los supuestos básicos del método de mínimos cuadrados ordinarios para cada componente y total. Los supuestos probados para el método de regresión fueron los siguientes:

- **Normalidad:** para detectar normalidad en los residuos de los modelos preseleccionados se realizó una visualización gráfica de distribución normal, la que debió presentar una tendencia similar a la curva ajustada, esto se comprobó mediante el test de Shapiro - Wilks.
- **Homocedasticidad:** para detectar homocedasticidad en los residuos de los modelos preseleccionados se realizó una visualización gráfica de los residuos, presentándose una tendencia homogénea de los residuos alrededor de sus valores esperados. Para tener una mayor certeza de esta observación, se ratificó a través del test de Bartlett. En los modelos que presentó heterocedasticidad se aplicó una transformación logarítmica, la cual resultó ser una herramienta útil para la solución de este problema.
- **Multicolinealidad:** El procedimiento Stepwise permitió la selección de modelos lineales simples, de modo que no fue necesario la comprobación de este supuesto.

4.2.5.1 Obtención de modelos

Para cada componente y el total tanto en peso seco como en peso verde, se generaron tres tipos de modelos lineales simples, descritos a continuación:

- **Primer modelo** : sin transformación de la variable dependiente (Y)
- **Segundo modelo:** con transformación logarítmica de la variable dependiente (Ln Y)
- **Tercer modelo:** con transformación logarítmica tanto de la variable dependiente (Ln Y) como de la variable independiente (Ln X)

La selección del modelo para cada componente y total tanto en peso seco como en peso verde, fue el siguiente:

1. El modelo debía presentar un valor P inferior a 0.05 en: la constante, el coeficiente de regresión y en el modelo general, es decir, se debía rechazar la hipótesis nula en cada caso
2. El modelo debía presentar un valor P superior a 0.05 para los supuestos de mínimos cuadrados considerados, es decir, no se podría rechazar la hipótesis nula en cada caso
3. En algunos casos se cumplieron las condiciones antes reseñadas, por lo tanto, se escogió el modelo que presentará el menor Error Estándar de Estimación (EEE), el cual se describe a continuación:

$$\text{Error Estándar de Estimación} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Peso real} - \text{Peso estimado})^2}{n-2}}$$

5 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La información recopilada para el desarrollo de la presente investigación, se presenta in extenso en el APÉNDICE I (Cuadro 4 y 5), mientras que en el Cuadro 2, se presenta un resumen con las estadísticas descriptivas básicas de cada variable, la cual servirá para indicar los límites de aplicabilidad de los modelos generados.

Cuadro 2: Estadística descriptiva de la información utilizada en el presente estudio

VARIABLE	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA			
	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Dap (cm)	20.80	37.81	53.50	0.23
Db (cm)	24.00	40.80	55.00	0.19
Ht (m)	8.60	11.06	14.30	0.14
Nr (unidades)	15.00	40.72	78.00	0.38
Ac (m ²)	17.94	36.90	71.08	0.43
Peso Seco Fuste (kg)	23.62	123.59	294.67	0.55
Peso Verde Fuste (kg)	45.00	261.00	628.00	0.56
Peso Seco Corteza (kg)	2.91	9.52	23.37	0.60
Peso Verde Corteza (kg)	6.30	21.62	57.70	0.61
Peso Seco Ramas (kg)	39.14	169.10	396.25	0.55
Peso Verde Ramas (kg)	86.00	349.60	817.00	0.56
Peso Seco Ramillas (kg)	48.48	98.90	206.35	0.35
Peso Verde Ramillas (kg)	76.00	218.80	476.00	0.39
Peso seco Total (Kg)	114.14	401.12	920.63	0.50
Peso Verde Total (Kg)	213.30	851.02	1978.70	0.51

Del Cuadro 2, es posible señalar las siguientes características:

1. Las variables determinadas en terreno presentan coeficientes de variación inferiores a las determinadas en laboratorio.

2. En todos los casos los coeficientes de variación del peso verde son levemente superiores a los del peso seco.
3. El fuste representa aproximadamente un 32% del peso total, la corteza representa aproximadamente un 3% del peso total, las ramas representan aproximadamente un 41% del peso total y las ramillas representan aproximadamente un 24% del peso total.
4. El contenido de humedad promedio general es de alrededor de un 111%.

En el Cuadro 3 se presenta un resumen con los modelos preseleccionados por componente. La información completa se describe a partir de apéndice 9, hasta el apéndice 13.

Cuadro 3: Modelos preseleccionados según componente y total

Componente	Peso	Modelo	Expresión	VALOR P						F. ajuste	E.E. (R²)
				Constante	Coficientes	Modelo	Ranlet	Shapiro-Wilks	F. ajuste		
Fuste	Seco	1	$F = a + b * (Db^2 * Ht)$	0,6161	0,0000	0,0000	0,0151	0,1282	75,57	33,85	
		2	$Ln(F) = a + b * (Db * Ht)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,7095	0,2963	69,37	42,09	
		3	$Ln(F) = a + b * Ln(Db^2 * Ht)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,9246	0,0146	76,14	34,13	
Corteza	Verde	1	$F = a + b * (Db^2 * Ht)$	0,5821	0,0000	0,0000	0,0193	0,2295	75,98	71,12	
		2	$Ln(F) = a + b * (Db)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,7935	0,4283	68,71	85,12	
		3	$Ln(F) = a + b * Ln(Db^2 * Ht)$	0,0001	0,0000	0,0000	0,9593	0,0208	76,98	71,83	
Ramas	Seco	1	$C = a + b * (Db^2 * Ht)$	0,2496	0,0000	0,0000	0,0015	0,0003	70,30	3,43	
		2	$Ln(C) = a + b * (Db^2 * Ht)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,8429	0,2387	74,18	3,50	
		3	$Ln(C) = a + b * Ln(Db^2 * Ht)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,9933	0,9247	72,91	2,87	
Ramillas	Verde	1	$C = a + b * (Db^2 * Ht)$	0,2690	0,0000	0,0000	0,0085	0,0019	74,80	6,62	
		2	$Ln(C) = a + b * (Ht * Db^2)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,3250	0,3043	78,14	8,73	
		3	$Ln(C) = a + b * Ln(Ht * Db^2)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,4041	0,2745	78,95	6,77	
Total	Seco	1	$R = a + b * (Dap^2 * Nr)$	0,0017	0,0000	0,0000	0,3091	0,2449	77,28	44,01	
		2	$Ln(R) = a + b * (Dap * Nr)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,2569	0,0193	67,23	46,12	
		3	$Ln(R) = a + b * Ln(Dap^2 * Nr)$	0,9802	0,0000	0,0000	0,3011	0,2361	61,27	49,68	
Total	Verde	1	$R = a + b * (Dap^2 * Nr)$	0,0027	0,0000	0,0000	0,2629	0,8397	77,12	92,84	
		2	$Ln(R) = a + b * (Dap * Nr)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,2865	0,2554	70,30	98,42	
		3	$Ln(R) = a + b * Ln(Dap^2 * Nr)$	0,9994	0,0000	0,0000	0,4145	0,3328	66,40	100,10	
Total	Seco	1	$Rs = a + b * (Db^3)$	0,0001	0,0037	0,0037	0,2383	0,0009	28,22	29,68	
		2	$Ln(Rs) = a + b * Db^2$	0,0000	0,0022	0,0022	0,7133	0,6566	31,08	29,90	
		3	$Ln(Rs) = a + b * Ln(Db^2)$	0,3114	0,0027	0,0027	0,4751	0,9179	30,03	30,23	
Total	Verde	1	$Rs = a + b * (Db^3)$	0,0007	0,0013	0,0013	0,2960	0,0007	34,05	69,79	
		2	$Ln(Rs) = a + b * (Db^2)$	0,0000	0,0004	0,0004	0,7842	0,5871	39,92	70,13	
		3	$Ln(Rs) = a + b * Ln(Db^2 * Dap^2)$	0,2032	0,0004	0,0004	0,8149	0,1582	40,61	71,44	
Total	Seco	1	$T = a + b * (Dap^2 * Ht)$	0,0023	0,0000	0,0000	0,7148	0,1677	83,61	68,93	
		2	$Ln(T) = a + b * (Db * Nr * Ht)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,5209	0,3701	74,41	102,14	
		3	$Ln(T) = a + b * Ln(Db^2 * Ht)$	0,0207	0,0000	0,0000	0,2166	0,0100	80,47	76,30	
Total	Verde	1	$T = a + b * (Dap^2 * Ht)$	0,0041	0,0000	0,0000	0,7374	0,0172	85,44	141,09	
		2	$Ln(T) = a + b * (Db * Nr * Ht)$	0,0000	0,0000	0,0000	0,2558	0,3398	72,51	230,80	
		3	$Ln(T) = a + b * Ln(Db^2 * Ht)$	0,0239	0,0000	0,0000	0,5608	0,0378	83,77	153,89	

Analizando la información entregada en el Cuadro 3, se observa que los modelos para el peso seco, presentan menores errores estándar de estimación que los modelos preseleccionados para el peso verde, para cada componente y el total. Probablemente su explicación radica en que los pesos secos presentan menores coeficientes de variación (Cuadro 2) en relación a los pesos verdes. En la investigación llevada a cabo por Prado y Aguirre (1987), descrita en el Cuadro 1, dichos autores discuten que todos los modelos cuya variable dependiente fue transformada aplicando logaritmos presentaron mayores errores cuadráticos medios porcentuales, lo cual se evidencia en la presente investigación (Cuadro 3). La diferencia fundamental entre ambas investigaciones es que Prado y Aguirre (1987), no hicieron una comprobación de los supuestos del método de los mínimos cuadrados, a diferencia de la presente investigación.

Al hacer un ordenamiento del error estándar de estimación de menor a mayor en los modelos tanto de peso seco como del peso verde, se presenta el siguiente orden:

1. Corteza con un promedio de 3,65 Kg para los modelos de peso seco y 7,37 Kg para los modelos de peso verde
2. Ramillas con un promedio de 30,26 Kg para los modelos de peso seco y 70,45 Kg para los modelos de peso verde
3. Fuste con un promedio de 36,69 Kg para los modelos de peso seco y 71.52 Kg para los modelos de peso verde
4. Ramas con un promedio de 46,60 Kg para los modelos de peso seco y 97,12 Kg para los modelos de peso verde
5. Total con un promedio de 82,38 Kg para los modelos de peso seco y 175,26 Kg para los modelos de peso verde

La ordenación precedente podría indicarnos en forma errónea que los modelos más exactos son los generados para corteza y los menos exactos los generados para el peso total; sin embargo, si se obtiene el error estándar de estimación porcentual, es decir, dividir el error estándar de estimación por el valor promedio de cada variable analizada (Cuadro 2) haciendo comparables las exactitudes alcanzadas, la ordenación sufre un cambio radical. El ordenamiento del error estándar de estimación porcentual, es el siguiente:

1. Total con un promedio del 21 % tanto para los modelos de peso seco y peso verde
2. Ramas con un promedio del 28 % tanto para los modelos de peso seco y peso verde
3. Fuste con un promedio del 30 % para los modelos de peso seco y un 28 % para los modelos de peso verde
4. Ramillas con un promedio del 31 % para los modelos de peso seco y un 32 % para los modelos de peso verde
5. Corteza con un promedio del 38 % para los modelos de peso seco y un 34 % para los modelos de peso verde

Así los modelos para el peso total presentan la mayor exactitud, en tanto los modelos para el peso de la corteza son los que presentan la menor exactitud.

A continuación se indicará el análisis realizado para la selección del modelo para cada componente y para el peso total. Se hizo una comparación para cada componente y para el peso total entre los modelos seleccionados por Prado y Aguirre (1987) y los seleccionados en la presente investigación, observándose claras diferencias entre ambos estudios; sin embargo, al no contar con la información detallada del estudio de Prado y Aguirre (1987), no es posible indicar las probables causas de dichas diferencias.

5.1 Selección del modelo para el componente fuste

El modelo número 1 tanto del peso seco como del peso verde, no cumplió la hipótesis sobre la constante de regresión y sobre la hipótesis de homocedasticidad, de modo que tuvo que ser descartado de la selección.

A su vez el modelo número 3 tanto en peso seco como en peso verde, no cumplió el supuesto de normalidad de residuos, de modo que también fue descartado de la selección.

El modelo número 2 tanto para el peso seco como para el peso verde, cumple todos los supuestos que el método de los mínimos cuadrados requiere, de modo que este modelo fue seleccionado para el componente fuste.

Comparando el resultado obtenido por Prado y Aguirre (1987) del error estándar de estimación porcentual para la estimación del peso verde es de un 36.7% (Cuadro 1), y el obtenido en la presente investigación es tan solo de un 33% para el peso verde y de un 34% para el peso seco; sin embargo, el coeficiente de determinación obtenido por estos autores (92.00) es superior al alcanzado en la presente investigación (69.37 para el peso seco y 68.71 para el peso verde).

5.2 Selección del modelo para el componente corteza

El modelo número 1 tanto del peso seco como del peso verde, no cumplió la hipótesis sobre la constante de regresión y sobre la hipótesis de homocedasticidad, de modo que tuvo que ser descartado de la selección.

Los modelos número 2 y número 3 tanto para el peso seco como para el peso verde, cumplen todos los supuestos que el método de los mínimos cuadrados requiere; sin

embargo, el modelo número 3 presentó el menor error estándar de estimación de modo que este modelo fue seleccionado para el componente corteza.

Comparando el resultado obtenido por Prado y Aguirre (1987) del error estándar de estimación porcentual para la estimación del peso verde es de un 27.6% (Cuadro 1), y el obtenido en la presente investigación es de un 31 % para el peso verde y de un 30 % para el peso seco; a su vez el coeficiente de determinación obtenido por estos autores (94.00) es superior al alcanzado en la presente investigación (72.91 para el peso seco y 78.95 para el peso verde).

5.3 Selección del modelo para el componente ramas

El modelo número 3 tanto del peso seco como del peso verde, no cumplió la hipótesis sobre la constante de regresión, de modo que tuvo que ser descartado de la selección.

A su vez el modelo número 2 para el peso seco, no cumplió el supuesto de normalidad de residuos, de modo que también fue descartado de la selección. El modelo número 2 para el peso verde cumplió con todos los supuestos del método de los mínimos cuadrados, de modo que fue comparado con el modelo número 1.

El modelo número 1 tanto para el peso seco como para el peso verde, cumple todos los supuestos que el método de los mínimos cuadrados requiere, y para el caso del peso verde presentó un error estándar de estimación inferior al modelo número 2, de modo que este modelo fue seleccionado para el componente ramas.

Comparando el resultado obtenido por Prado y Aguirre (1987) del error estándar de estimación porcentual para la estimación del peso verde es de un 29.3 % (Cuadro 1), y el obtenido en la presente investigación es tan solo de un 26 % para el peso verde y de un 27

% para el peso seco; sin embargo, el coeficiente de determinación obtenido por estos autores (93.00) es superior al alcanzado en la presente investigación (77.28 para el peso seco y 77.12 para el peso verde).

5.4 Selección del modelo para el componente ramillas

El modelo número 1 tanto del peso seco como del peso verde, no cumplió la hipótesis sobre la normalidad de los residuos, de modo que tuvo que ser descartado de la selección.

A su vez el modelo número 3 tanto en peso seco, como en peso verde, no cumplió el supuesto de la constante de regresión, de modo que también fue descartado de la selección.

El modelo número 2 tanto para el peso seco, como para el peso verde, cumple todos los supuestos que el método de los mínimos cuadrados requiere, de modo que este modelo fue seleccionado para el componente ramillas.

Comparando el resultado obtenido por Prado y Aguirre (1987) del error estándar de estimación porcentual para la estimación del peso verde es de un 29.6 % (Cuadro 1), y el obtenido en la presente investigación es de un 32 % para el peso verde y de un 31 % para el peso seco, además el coeficiente de determinación obtenido por estos autores (88.00) es superior al alcanzado en la presente investigación (31.08 para el peso seco y 39.92 para el peso verde).

5.5 Selección del modelo para el peso total

Para el peso seco total el modelo número 3 no cumplió el supuesto sobre normalidad de los residuos, de modo que fue descartado del análisis. Tanto el modelo número 1 como el modelo número 2 cumplieron con todos los supuestos del método de los mínimos

cuadrados; sin embargo, el modelo número 1 presentaba el menor error estándar de estimación, de modo que fue seleccionado para el peso seco total.

Para el peso verde tanto el modelo número 1 como el modelo número 3, no cumplieron la hipótesis sobre la normalidad de los residuos, de modo que fueron descartados de la selección.

El modelo número 2, cumplió todos los supuestos que el método de los mínimos cuadrados requiere, de modo que este modelo fue seleccionado para el peso total verde.

Comparando el resultado obtenido por Prado y Aguirre (1987) del error estándar de estimación porcentual para la estimación del peso verde es de un 22.6 % (Cuadro 1), y el obtenido en la presente investigación es de un 27 % para el peso verde y de un 17 % para el peso seco, además el coeficiente de determinación obtenido por estos autores (96.00) es superior al alcanzado en la presente investigación (83.61 para el peso seco y 72.51 para el peso verde).

6 CONCLUSIONES

De acuerdo a los criterios señalados y, respecto a los objetivos generales que se persiguen, se presentan a continuación las conclusiones obtenidas.

Para el componente fuste los modelos seleccionados son:

Peso seco	$\text{Ln (F)} = 2.85382 + 0.00395038 * (\text{Db} * \text{Ht})$
Peso verde	$\text{Ln (F)} = 2.70805 + 0.0659263 * (\text{Db})$

Las variables seleccionadas en este estudio para este componente son el Db y la Ht. Mientras que en el estudio de Prado y Aguirre (1987) se seleccionan Db, Ht y Dap. Por lo tanto se puede concluir que las variables que más explican esta función son el Db y la Ht para Peso Seco y Db para peso verde.

Si bien es cierto, la transformación logarítmica complica el cálculo de resultados, es esta función la que predice con mayor confiabilidad la estimación de pesos de este componente, ya que se cumplen todos los supuestos de mínimos cuadrados.

Para el componente corteza los modelos seleccionados son:

Peso seco	$\text{Ln (C)} = -8.51355 + 1.08563 * \text{Ln}(\text{Db}^2 * \text{Ht})$
Peso verde	$\text{Ln (C)} = -7.88754 + 1.10439 * \text{Ln}(\text{Db}^2 * \text{Ht})$

Las variables seleccionadas en este estudio para este componente son el Db la Ht, al igual que Prado y Aguirre (1987), por lo tanto, se concluye que estas variables son la que más explican el componente corteza tanto para peso verde como peso seco. Al igual que el

fuste la transformación logarítmica en ambas variables es la función que predice con mayor confiabilidad la estimación de pesos de este componente.

Para el componente ramas los modelos seleccionados son:

Peso seco	$R = 54.5793 + 0.00165835 * (Dap^2 * Nr)$
Peso verde	$R = 109.055 + 0.00348318 * (Dap^2 * Nr)$

Las variables seleccionadas en este estudio para este componente son para ambos pesos el Dap y el Nr, mientras que Prado y Aguirre (1987) seleccionan Dap, Ht y Nr. Por lo tanto las variables que más explican esta función son el Dap y el Nr.

La presente Tesis y el estudio de Prado y Aguirre (1987) utilizaron una función lineal simple, confirmando que este tipo de modelo es el más adecuado.

Para el componente ramillas los modelos seleccionados son:

Peso seco	$Ln (Rs) = 4.00333 + 0.000310151 * (Db^2)$
Peso verde	$Ln (Rs) = 4.63887 + 0.000393781 * (Db^2)$

Las variables seleccionadas en este estudio para ambos pesos es el Db, mientras que Prado y Aguirre (1987) utilizaron Dap y Db. Por lo tanto, la variable que más explica este componente es el Db.

La transformación logarítmica predice con mayor confiabilidad la estimación de pesos de este componente, ya que se cumplen todos los supuestos de mínimos cuadrados con un error de estimación no significativo.

Para el peso total los modelos seleccionados son:

Peso seco	$T = 103.289 + 0.017498 * (Dap^2 * Ht)$
Peso verde	$Ln (T) = 6.01908 + 0.0000316573 * (Db * Nr * Ht)$

Las variables seleccionadas en este estudio para peso seco son el Dap y la Ht, mientras que Prado y Aguirre (1987) seleccionan Dap y Db. La variable seleccionada en ambos casos es el Dap, lo que sugiere que es la variable que más explica el peso seco del árbol completo. La función lineal simple utilizada en ambos casos también sugiere una manera fácil de determinar el peso.

Las variables seleccionadas en este estudio para peso verde son el Db, Nr y Ht, a diferencia de Prado y Aguirre que estiman Dap y Db. La variable que se repite en ambos estudios es el Db, lo que sugiere que es la variable que más representa el peso verde del árbol completo.

Debe mencionarse que los resultados obtenidos son aplicables a la localidad mencionada y con los rangos de las variables independientes establecidos en el Cuadro N° 2, sin embargo, la metodología utilizada es extrapolable a cualquier otra especie, localidad y rango de variables independientes.

Las funciones obtenidas son el resultado de un análisis estadístico riguroso que preselecciona las variables independientes que aportan a la función y que selecciona aquellas que cumplen los supuestos de mínimos cuadrados ordinarios. En ese contexto, este estudio viene a llenar un vacío respecto de la manera de determinar biomasa de Quillay, ya que, sólo existían funciones de estimación de biomasa manual, sin un apoyo estadístico computacional potente.

Por último, la presente Tesis debe tomarse como una herramienta más que sirva para mejorar el manejo de la especie Quillay, y así, disminuir la sobreexplotación que actualmente sufre.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ DE ARAYA, G. 1979 Tabla de rendimiento de corteza de Quillay. Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Regional del Maule.
- BRUCE, D.; SCHUMACHER, F. 1965. "Medición Forestal". Editorial Herrero, S.A. México F. C., México 474 p.
- CLARKE, R. 1986. The Handbook of Ecological Monitoring. Claredon Press Oxford.
- DONOSO, C. 1981. Tipos forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento de Trabajo n° 38. Santiago, FAO/PNUD/CONAF (Fo:DP/CHI/76003) 82p.
- GREGOIRE, T. G. y DYER, M. E. 1989. Model fitting under patterned heterogeneity of variance. For. Sci. 35(1): 105-125.
- GUJARATI, D. 1992. Econometría. 2^{da} Edición. Editorial McGraw Hill Interamericana de México S.A. de C.V.
- LINEROS, M. 1986. Funciones locales de biomasa (madera y corteza) para Pinus radiata (D. Don.) Tesis de grado, Universidad de Concepción, Fac. de Ciencias Agropecuarias y Forestales.
- NEUENSCHWANDER, A. 1965. Contribución al estudio anatómico de la corteza de quillay (Quillaja saponaria Mol.) y recomendaciones sobre su explotación. Tesis de grado, Universidad de Chile, Fac de Agronomía.
- PEREZ, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Documento de Trabajo n° 47. Santiago, CONAF/PNUD/FAO-CHI/76/003. 451 p.
- PRADO, J. y ALARCON, C. 1991. Funciones de biomasa de Eucalyptus globulus ssp. globulus en la región costera central. Ciencia e Investigación Forestal. Vol 5, Número 1. pp 59-70. INFOR-Chile.
- PRADO, J. y AGUIRRE, S. 1987. Funciones para la estimación de la biomasa total y de componentes del quillay (Quillaja saponaria Mol). Ciencia e Investigación Forestal. Vol 1, Número 1. pp 41-47. INFOR-Chile.
- PRADO, J., INFANTE, P., ARRIAGADA, M., y AGUIRRE, S. 1987. Funciones de biomasa para seis especies arbustivas de la zona árida chilena. Ciencia e Investigación Forestal. Vol 1, Número 2. pp 11-20. INFOR-Chile.

- TORAL, M., KANNEGIESSER, U. y ROSENDE, R. 1988. Biomasa y boldina en boldo (Peumus boldus Mol) VII Región. Ciencia e Investigación Forestal Vol 2, Número 4. pp 15-25. INFOR-Chile.
- VITA, A. 1989. Ecosistemas de bosques y matorrales mediterráneos y sus tratamientos silviculturales en Chile. Documento de trabajo n° 21. Santiago, FAO/PNUD/CONAF (Fo:DP/CHI/83/017) 243 p.

8 APÉNDICE I

Cuadro 4: Información de Terreno

Arbol Nº	BAP (Cm)	DB (Cm)	HT (M)	NR	AC (M²)
	20.8	24.0	11.2	15.0	25.3
2	26.0	39.2	8.6	37.0	31.2
3	27.8	31.4	11.9	29.0	24.2
4	28.0	29.0	9.9	18.0	18.7
5	28.3	30.3	8.6	30.0	17.9
6	30.5	34.0	9.5	30.0	36.0
7	31.3	36.8	10.7	27.0	28.1
8	31.4	31.4	10.3	28.0	18.6
9	33.1	36.0	10.0	38.0	27.1
10	34.0	39.8	12.8	23.0	33.6
11	34.5	39.3	13.4	27.0	25.5
12	37.0	38.0	11.5	46.0	22.9
13	37.3	42.1	11.1	41.0	25.7
14	37.6	39.0	10.0	35.0	36.1
15	39.5	44.5	10.9	42.0	43.3
16	41.4	48.5	9.6	41.0	44.0
17	42.0	44.5	11.5	66.0	22.9
18	45.2	47.0	12.2	52.0	64.3
19	46.8	47.8	14.2	78.0	62.6
20	47.0	44.5	9.1	44.0	31.4
21	47.5	49.0	11.7	49.0	42.9
22	47.8	50.7	11.7	61.0	71.1
23	47.9	47.8	11.6	54.0	47.1
24	49.0	50.5	10.1	52.0	62.2
25	53.5	55.0	14.3	55.0	59.6

Cuadro 5: Información de Laboratorio

ARBOL N°	FUSTE (KG)		CORTEZA (KG)		RAMAS (KG)		RAMILLAS (KG)		TOTAL (KG)	
	Peso Verde	Peso Seco	Peso Verde	Peso Seco	Peso Verde	Peso Seco	Peso Verde	Peso Seco	Peso Verde	Peso Seco
1	45.0	23.6	6.3	2.9	138.0	80.6	76.0	56.5	265.3	163.6
2	150.0	72.9	17.1	7.9	254.0	126.5	268.0	126.3	689.1	333.7
3	191.0	93.4	13.4	6.2	248.0	123.2	192.0	99.1	644.4	321.9
4	99.0	48.8	8.2	3.5	225.0	111.5	148.0	64.7	480.2	228.4
5	105.0	52.0	12.8	6.2	118.0	54.3	138.0	72.0	373.8	184.5
6	161.0	75.7	9.7	4.3	127.0	62.5	120.0	48.5	417.7	191.0
7	176.0	83.8	12.4	5.4	265.0	130.1	216.0	100.6	669.4	319.8
8	130.0	57.3	8.4	4.4	167.0	80.8	206.0	92.7	511.4	235.3
9	122.0	57.5	9.7	4.0	305.0	153.0	266.0	124.2	702.7	338.7
10	264.0	124.8	33.6	14.3	86.0	39.1	154.0	70.1	537.6	248.4
11	335.0	153.9	18.6	8.6	192.0	89.6	152.0	57.5	697.6	309.7
12	300.0	138.6	12.4	4.9	280.0	136.5	172.0	76.8	764.4	356.9
13	325.0	157.1	15.1	7.1	335.0	170.7	153.0	72.0	828.1	406.9
14	91.0	42.7	10.2	3.8	352.0	171.9	332.0	127.8	785.2	346.3
15	343.0	153.6	19.2	8.0	491.0	217.6	224.0	102.4	1077.2	481.6
16	255.0	118.3	30.3	14.6	223.0	105.4	222.0	96.3	730.3	334.6
17	274.0	130.5	20.8	9.6	428.0	191.1	192.0	79.9	914.8	411.1
18	293.0	138.8	22.7	9.8	584.0	271.8	215.0	102.4	1114.7	522.7
19	449.0	215.7	57.7	28.4	817.0	396.2	200.0	88.9	1523.7	729.3
20	336.0	163.4	22.3	10.9	335.0	156.3	232.0	111.6	925.3	442.3
21	560.0	265.0	34.9	14.7	498.0	235.6	476.0	206.3	1568.9	721.6
22	382.0	184.7	28.2	10.7	441.0	215.4	247.0	118.1	1098.2	528.9
23	186.0	84.8	30.5	13.8	718.0	334.0	179.0	87.9	1113.5	520.4
24	325.0	158.0	38.3	15.7	480.0	272.7	332.0	156.1	1175.3	602.6
25	628.0	294.7	47.7	23.3	633.0	301.0	358.0	134.0	1666.7	753.0

9 APÉNDICE II

Salidas de Regresión, Análisis de Varianza y gráficos para comprobar los supuestos de Homocedasticidad y Normalidad para todos los modelos generados, ya sea en Peso Seco y Peso Verde para el componente **Fuste**.

PESO SECO

Modelo n° 1:

$$PSF = a + b * (Db^{2*} Ht)$$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-8.46871	16.6614	-0.508284	0.6161
db^2*ht	0.00678335	0.000781967	8.67472	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	86242.3	1	86242.3	75.25	0.0000
Residual	26359.5	23	1146.06		
Total (Corr.)	112602.0	24			

R-squared = 76.5905 percent

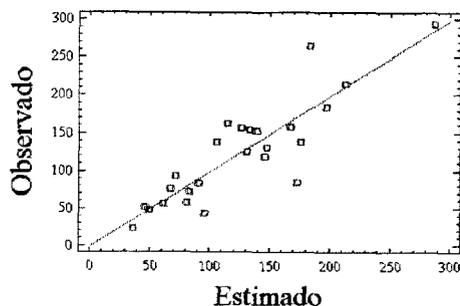
R-squared (adjusted for d.f.) = 75.5727 percent

Standard Error of Est. = 33.8536

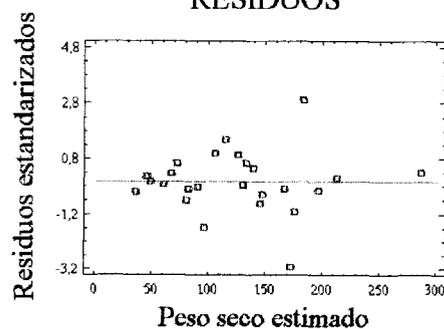
Bartlett's test: 1.50403 P-Value = 0.0151231

Shapiro-Wilks W statistic = 0.936389 P-Value = 0.128242

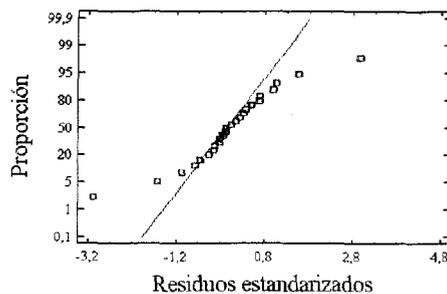
PESO SECO FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO SECO

Modelo n° 2:

$$\text{Ln(PSF)} = a + b * (\text{Db} * \text{Ht})$$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	2.85382	0.251325	11.3551	0.0000
db*ht	0.00395038	0.000530931	7.44048	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	6.37019	1	6.37019	55.36	0.0000
Residual	2.64654	23	0.115067		
Total (Corr.)	9.01673	24			

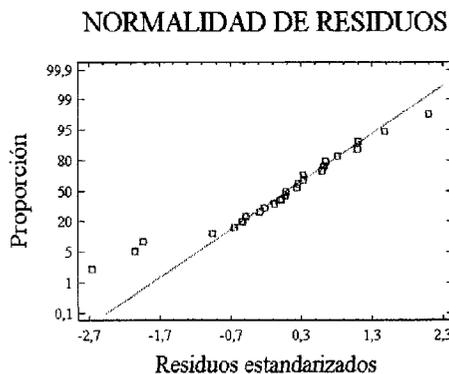
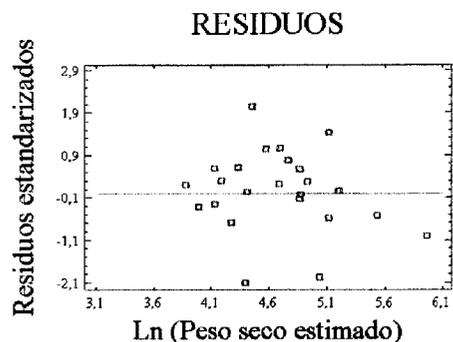
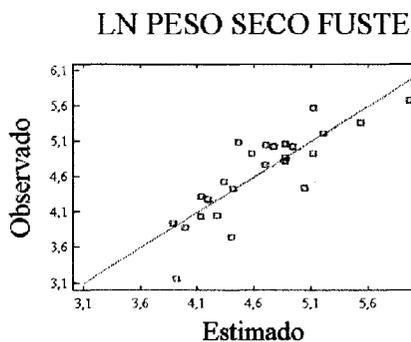
R-squared = 70.6486 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 69.3724 percent

Standard Error of Est. = 0.339215

Bartlett's test: 1.03398 P-Value = 0.709491

Shapiro-Wilks W statistic = 0.952405 P-Value = 0.296299



PESO SECO**Modelo n° 3:**

$$\text{Ln(PSF)} = a + b * \text{Ln}(\text{Db}^2 * \text{Ht})$$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-6.28557	1.24336	-5.05531	0.0000
log(db^2*ht)	1.11952	0.12709	8.80891	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	6.95519	1	6.95519	77.60	0.0000
Residual	2.06154	23	0.0896323		
Total (Corr.)	9.01673	24			

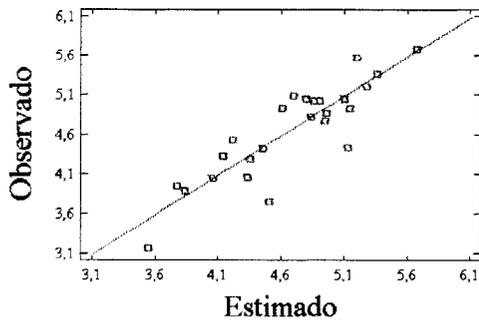
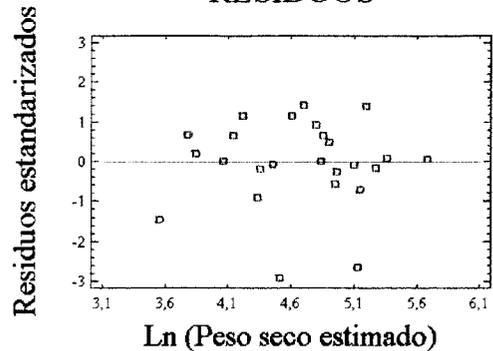
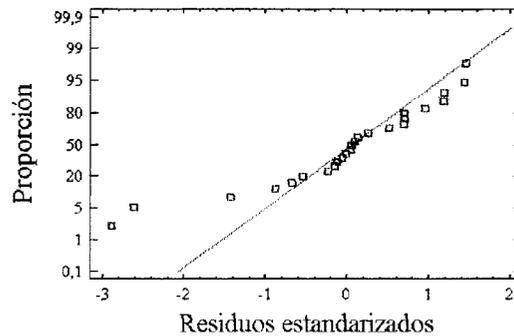
R-squared = 77.1365 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 76.1424 percent

Standard Error of Est. = 0.299387

Bartlett's test: 1.00766 P-Value = 0.924633

Shapiro-Wilks W statistic = 0.896214 P-Value = 0.0146089

LN PESO SECO FUSTE**RESIDUOS****NORMALIDAD DE RESIDUOS**

Multiple Regression Analysis

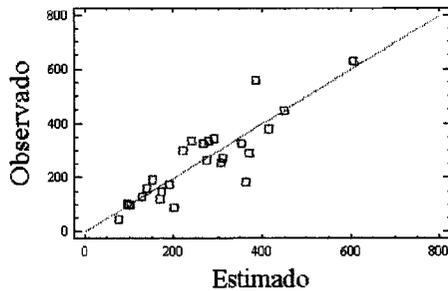
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-19.5396	35.0048	-0.558196	0.5821
(db ² *ht)	0.01441	0.00164288	8.77119	0.0000

Analysis of Variance

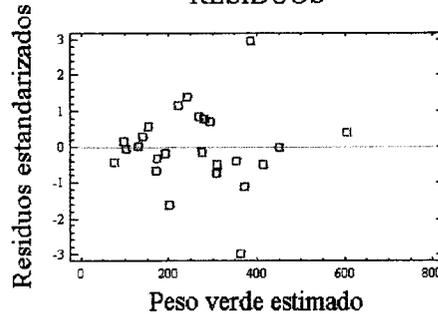
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	389189.0	1	389189.0	76.93	0.0000
Residual	116351.0	23	5058.75		
Total (Corr.)	505540.0	24			

R-squared = 76.9848 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 75.9841 percent
 Standard Error of Est. = 71.1249
 Bartlett's test: 1.46896 P-Value = 0.0192702
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.947395 P-Value = 0.229551

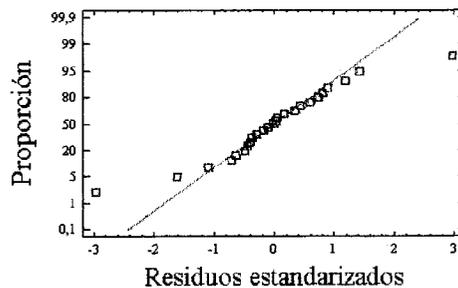
PESO VERDE FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	2.70805	0.3737	7.24658	0.0000
(db)	0.0659263	0.00899667	7.32785	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	6.56326	1	6.56326	53.70	0.0000
Residual	2.81121	23	0.122227		
Total (Corr.)	9.37447	24			

R-squared = 70.012 percent

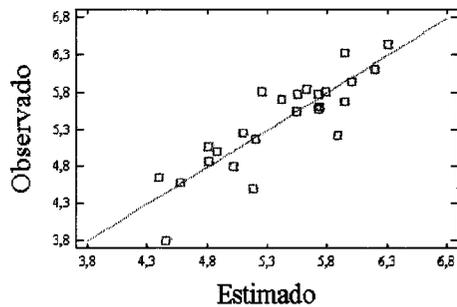
R-squared (adjusted for d.f.) = 68.7082 percent

Standard Error of Est. = 0.349609

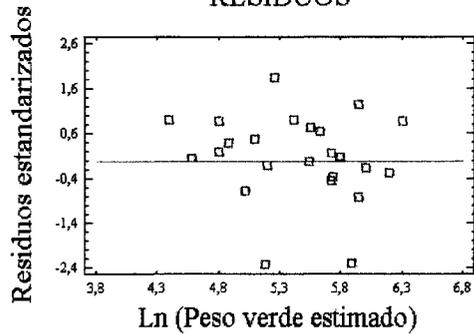
Bartlett's test: 1.02278 P-Value = 0.793521

Shapiro-Wilks W statistic = 0.960042 P-Value = 0.428381

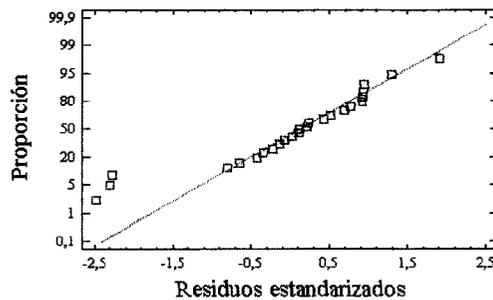
LN PESO VERDE FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



Multiple Regression Analysis

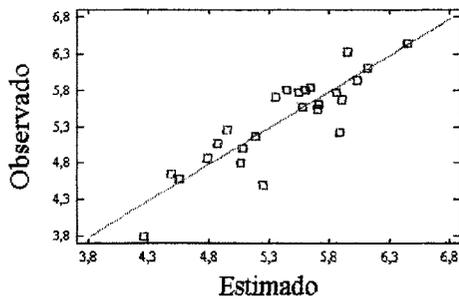
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-5.81445	1.24541	-4.6687	0.0001
$\log(db^2 * ht)$	1.14742	0.127299	9.01356	0.0000

Analysis of Variance

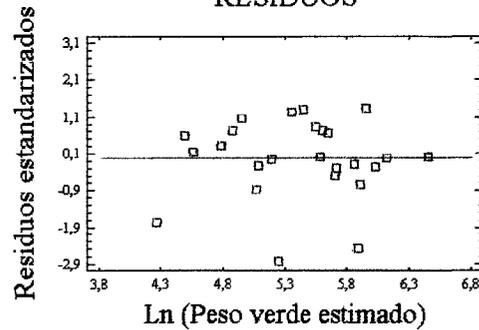
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	7.30613	1	7.30613	81.24	0.0000
Residual	2.06834	23	0.089928		
Total (Corr.)	9.37447	24			

R-squared = 77.9364 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 76.9771 percent
 Durbin-Watson statistic = 1.81044
 Bartlett's test: 1.00405 P-Value = 0.959329
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.90282 P-Value = 0.0207986

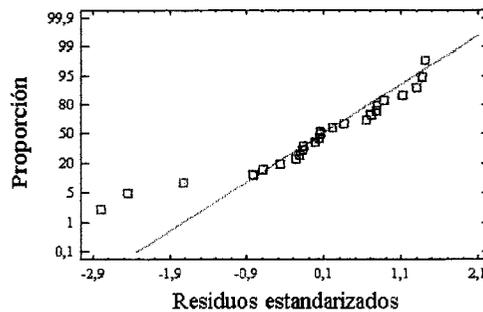
LN PESO VERDE FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



10 APÉNDICE III

Salidas de Regresión, Análisis de Varianza y gráficos para comprobar los supuestos de Homocedasticidad y Normalidad para todos los modelos generados, ya sea en Peso Seco y Peso Verde para el componente **Corteza**.

Multiple Regression Analysis

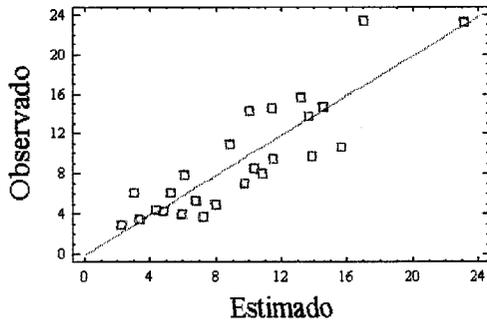
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-1.99184	1.68622	-1.18125	0.2496
DB^2 * Ht	0.000601681	0.0000791391	7.60283	0.0000

Analysis of Variance

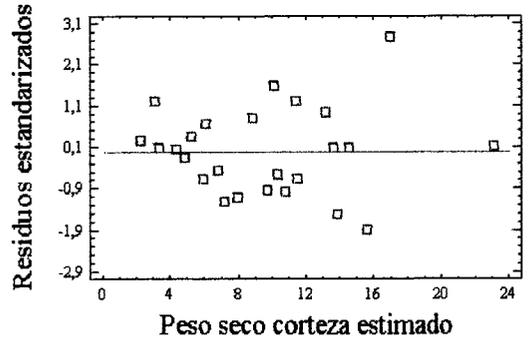
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	678.524	1	678.524	57.80	0.0000
Residual	269.987	23	11.7386		
Total (Corr.)	948.51	24			

R-squared = 71.5357 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 70.2981 percent
 Standard Error of Est. = 3.42616
 Bartlett's test: 1.88071 P-Value = 0.00152352
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.817046 P-Value = 0.000283906

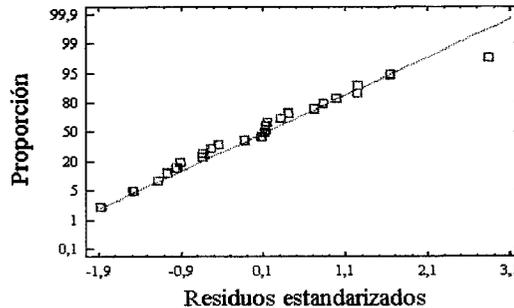
PESO SECO CORTEZA



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO SECO

Modelo n° 2:

$$\ln(\text{PSC}) = a + b * (\text{Db}^2 * \text{Ht})$$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	0.935766	0.151727	6.16744	0.0000
DB^2*HT	0.0000595549	0.00000712099	8.3633	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	6.64764	1	6.64764	69.94	0.0000
Residual	2.18595	23	0.0950413		
Total (Corr.)	8.83359	24			

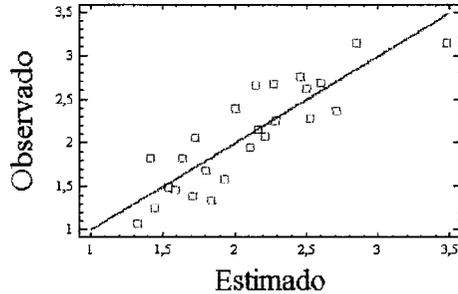
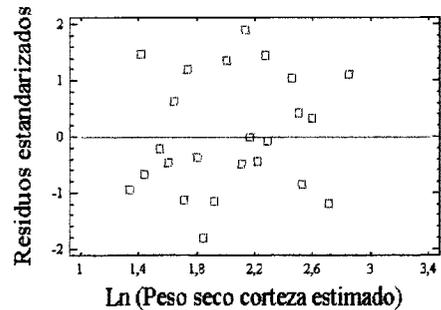
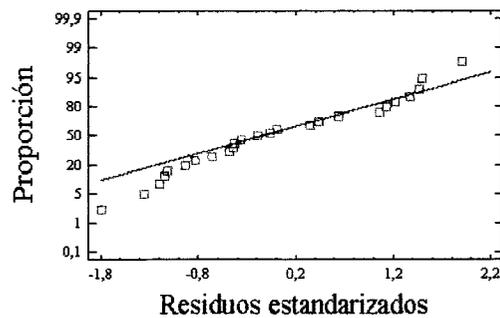
R-squared = 75.2541 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 74.1782 percent

Standard Error of Est. = 0.308288

Bartlett's test: 1.01679 P-Value = 0.842859

Shapiro-Wilks W statistic = 0.948155 P-Value = 0.238727

PESO SECO CORTEZA**RESIDUOS****NORMALIDAD DE RESIDUOS**

Multiple Regression Analysis

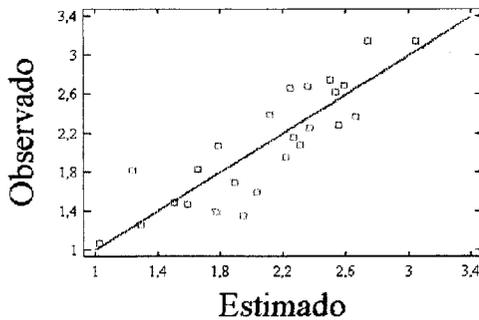
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-8.51355	1.31134	-6.49224	0.0000
LOG(DB^2*HT)	1.08563	0.134038	8.09939	0.0000

Analysis of Variance

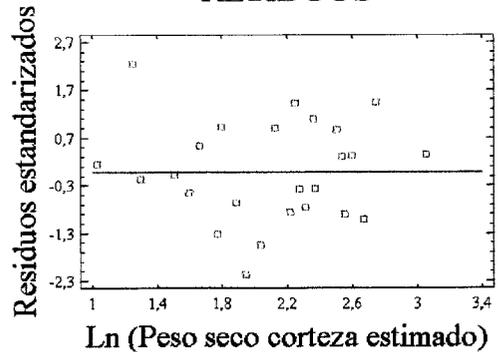
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	6.54045	1	6.54045	65.60	0.0000
Residual	2.29314	23	0.0997018		
Total (Corr.)	8.83359	24			

R-squared = 74.0407 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 72.912 percent
 Standard Error of Est. = 0.315756
 Bartlett's test: 1.00066 P-Value = 0.993283
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.98262 P-Value = 0.924733

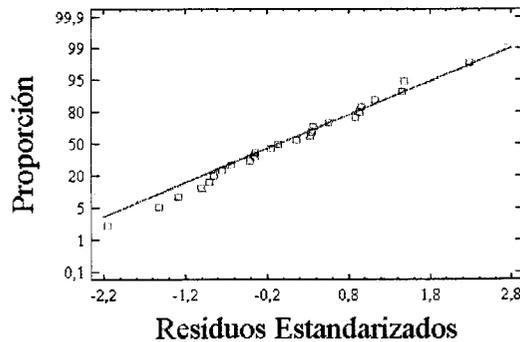
PESO SECO CORTEZA



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



Multiple Regression Analysis

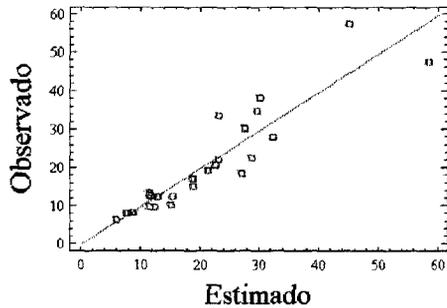
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-3.6921	3.25972	-1.13264	0.2690
db^2*ht	0.00130016	0.000152988	8.49846	0.0000

Analysis of Variance

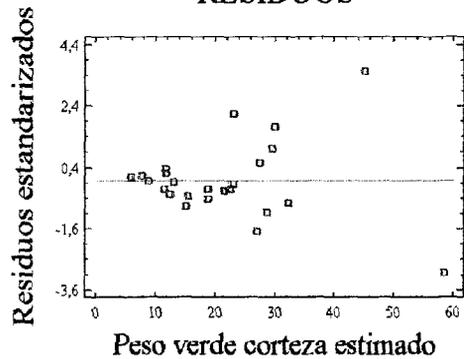
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	3168.32	1	3168.32	72.22	0.0000
Residual	1008.96	23	43.868		
Total (Corr.)	4177.28	24			

R-squared = 75.8464 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 74.7962 percent
 Standard Error of Est. = 6.62329
 Bartlett's test: 1.59045 P-Value = 0.00852059
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.857043 P-Value = 0.00193704

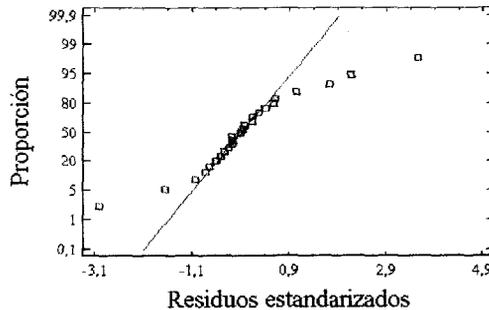
PESO HUMEDO CORTEZA



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO VERDE

Modelo n° 2:

$\ln(\text{PVC}) = a + b * (\text{Db}^2 * \text{Ht})$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	1,74033	0,136783	12,7233	0,0000
HT*DB^2	0,0000598013	0,00000641962	9,3154	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	6,70276	1	6,70276	86,78	0,0000
Residual	1,77656	23	0,0772416		

Total (Corr.) 8,47932 24

R-squared = 79,0484 percent

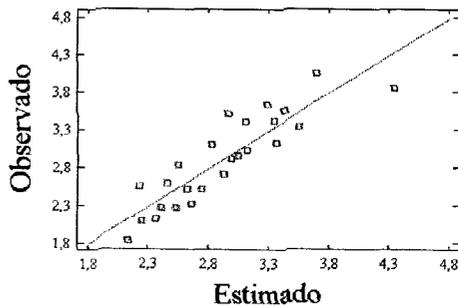
R-squared (adjusted for d.f.) = 78,1374 percent

Standard Error of Est. = 0,277924

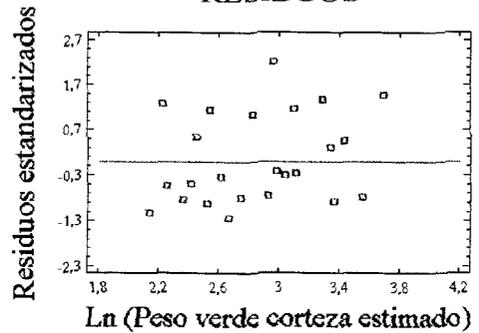
Bartlett's test: 1,29151 P-Value = 0,325001

Shapiro-Wilks W statistic = 0,952943 P-Value = 0,304367

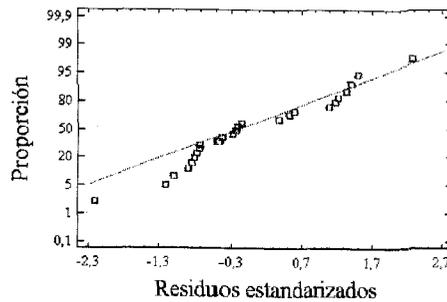
PESO VERDE CORTEZA



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



Multiple Regression Analysis

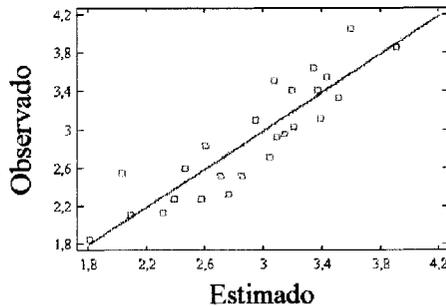
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-7,88754	1,13268	-6,96362	0,0000
log(HT*DB^2)	1,10439	0,115776	9,53903	0,0000

Analysis of Variance

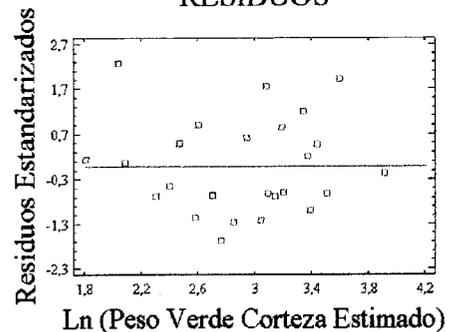
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	6,76848	1	6,76848	90,99	0,0000
Residual	1,71085	23	0,0743846		
Total (Corr.)	8,47932	24			

R-squared = 79,8233 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 78,9461 percent
 Standard Error of Est. = 0,272735
 Bartlett's test: 1,24701 P-Value = 0,404167
 Shapiro-Wilks W statistic = 0,950889 P-Value = 0,274513

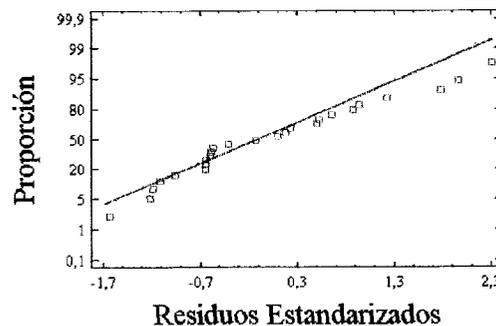
LN PESO VERDE CORTEZA



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



11 APÉNDICE IV

Salidas de Regresión, Análisis de Varianza y gráficos para comprobar los supuestos de Homocedasticidad y Normalidad para todos los modelos generados, ya sea en Peso Seco y Peso Verde para el componente **Ramas**.

Multiple Regression Analysis

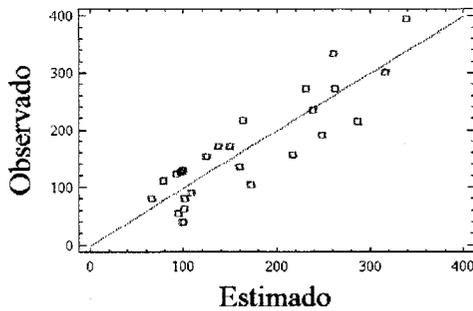
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	54.5793	15.3692	3.55121	0.0017
dap ² *nr	0.00165835	0.000182448	9.08943	0.0000

Analysis of Variance

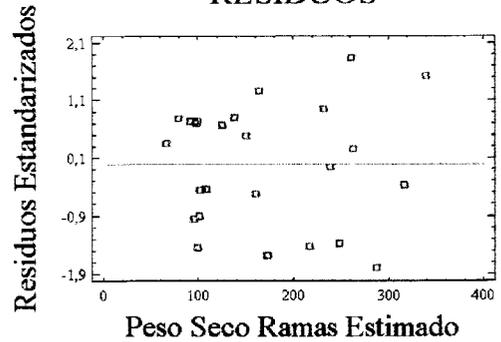
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	159987.0	1	159987.0	82.62	0.0000
Residual	44538.9	23	1936.48		
Total (Corr.)	204526.0	24			

R-squared = 78.2234 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 77.2765 percent
Standard Error of Est. = 44.0054
Bartlett's test: 1.12111 P-Value = 0.30912
Shapiro-Wilks W statistic = 0.948654 P-Value = 0.244943

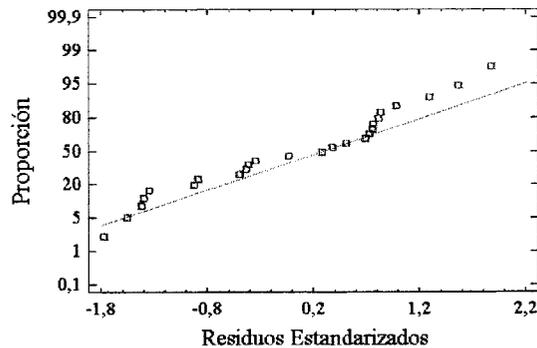
PESO SECO RAMAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



 Multiple Regression Analysis

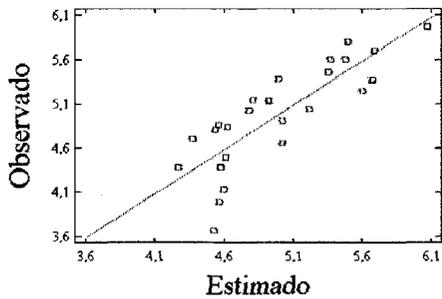
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	4.09313	0.141723	28.8811	0.0000
dap*nr	0.00053784	0.0000758824	7.08781	0.0000

 Analysis of Variance

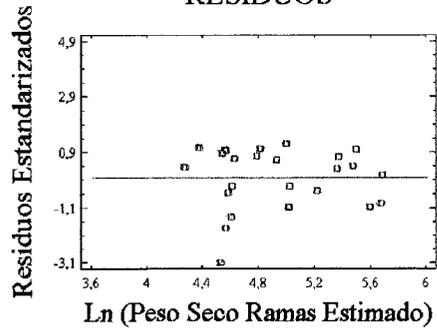
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	5.67198	1	5.67198	50.24	0.0000
Residual	2.5968	23	0.112904		
Total (Corr.)	8.26879	24			

R-squared = 68.5951 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 67.2297 percent
 Standard Error of Est. = 0.336012
 Bartlett's test: 1.14149 P-Value = 0.256915
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.901467 P-Value = 0.0193414

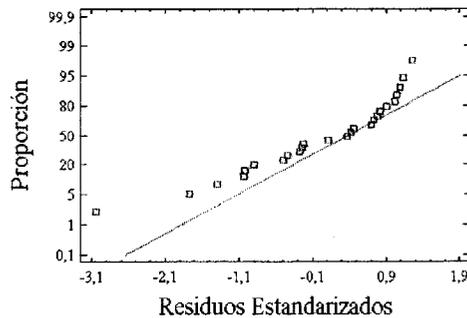
LN PESO SECO DE RAMAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



Multiple Regression Analysis

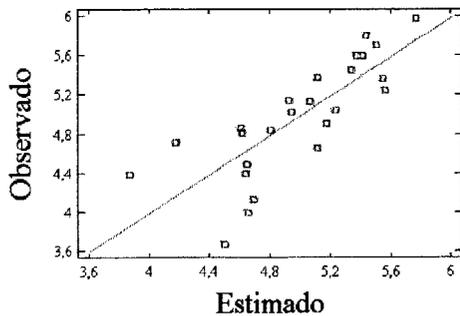
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-0.0201562	0.803999	-0.02507	0.9802
$\log(\text{dap} * \text{nr}^2)$	0.459596	0.0736314	6.24185	0.0000

Analysis of Variance

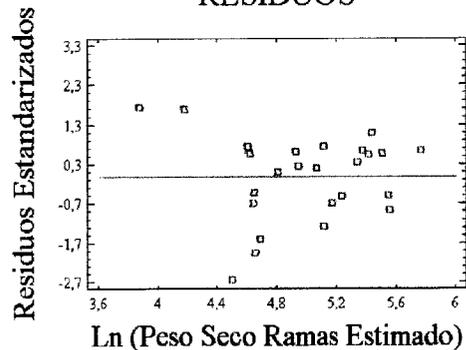
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	5.19939	1	5.19939	38.96	0.0000
Residual	3.0694	23	0.133452		
Total (Corr.)	8.26879	24			

R-squared = 62.8797 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 61.2658 percent
 Standard Error of Est. = 0.365311
 Bartlett's test: 1.12397 P-Value = 0.301137
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.947943 P-Value = 0.236132

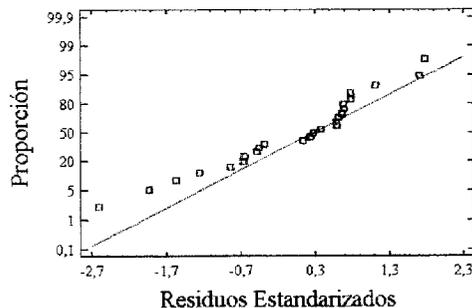
LN PESO SECO RAMAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO VERDE

Modelo n° 1:

$PVR = a + b \cdot (Dap^{2.6} \cdot Nr)$

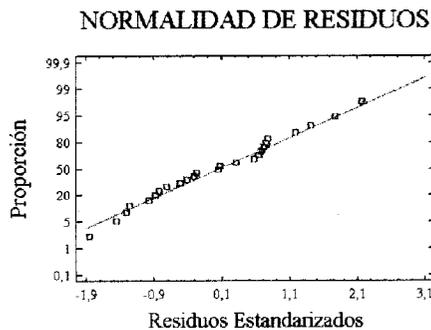
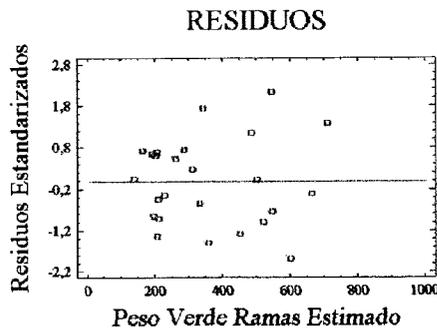
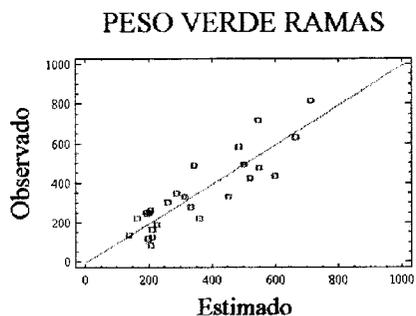
 Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	109.055	32.4236	3.36343	0.0027
(dap ² *nr)	0.00348318	0.000384902	9.04951	0.0000

 Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	705802.0	1	705802.0	81.89	0.0000
Residual	198226.0	23	8618.52		
Total (Corr.)	904028.0	24			

R-squared = 78.073 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 77.1197 percent
 Standard Error of Est. = 92.836
 Bartlett's test: 1.13893 P-Value = 0.2629
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.978029 P-Value = 0.839761



Multiple Regression Analysis

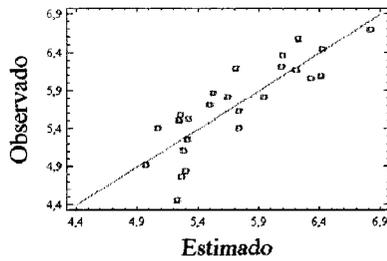
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	4.79079	0.135835	35.2692	0.0000
(dap*nr)	0.00055303	0.0000727298	7.6039	0.0000

Analysis of Variance

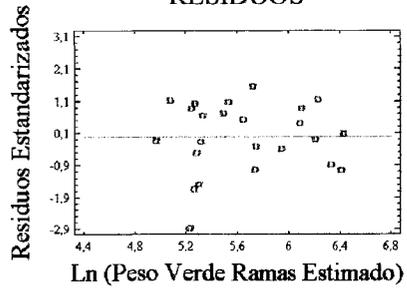
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	5.99689	1	5.99689	57.82	0.0000
Residual	2.38551	23	0.103718		
Total (Corr.)	8.38239	24			

R-squared = 71.5415 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 70.3041 percent
 Standard Error of Est. = 0.322052
 Bartlett's test: 1.12945 P-Value = 0.286477
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.949476 P-Value = 0.255481

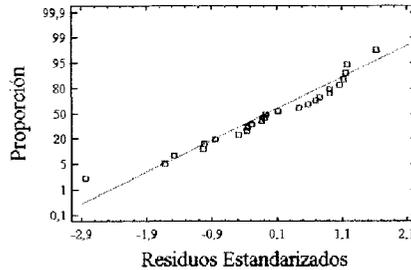
LN PESO VERDE RAMAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO VERDE

Modelo n° 3:

$\text{Ln(PVR)} = a + b * \text{Ln(Dap}^{2*} \text{Nr}^{2})$

Multiple Regression Analysis

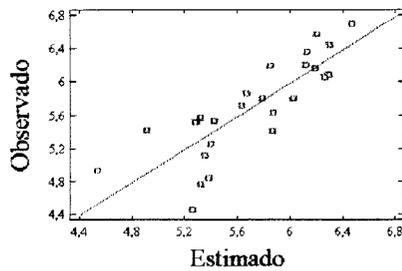
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-0.000603529	0.821985	-0.000734233	0.9994
$\log(\text{dap}^{2*}\text{nr}^{2})$	0.393711	0.0565711	6.95958	0.0000

Analysis of Variance

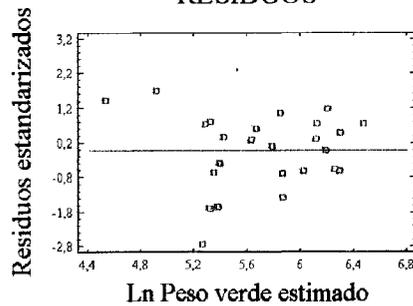
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	5.68354	1	5.68354	48.44	0.0000
Residual	2.69886	23	0.117342		
Total (Corr.)	8.38239	24			

R-squared = 67.8033 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 66.4034 percent
 Standard Error of Est. = 0.342552
 Bartlett's test: 1.08954 P-Value = 0.414496
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.954748 P-Value = 0.332802

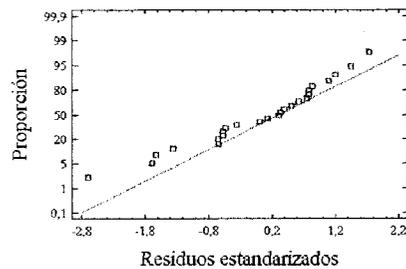
LN PESO VERDE RAMAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



12 APÉNDICE V

Salidas de Regresión, Análisis de Varianza y gráficos para comprobar los supuestos de Homocedasticidad y Normalidad para todos los modelos generados, ya sea en Peso Seco y Peso Verde para el componente Ramillas.

PESO SECO**Modelo n° 1:**

$PSRS = a + b * (Db^3)$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	61.7502	12.9437	4.77067	0.0001
db^3	0.000493965	0.000152923	3.23015	0.0037

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	9192.5	1	9192.5	10.43	0.0037
Residual	20263.6	23	881.027		
Total (Corr.)	29456.1	24			

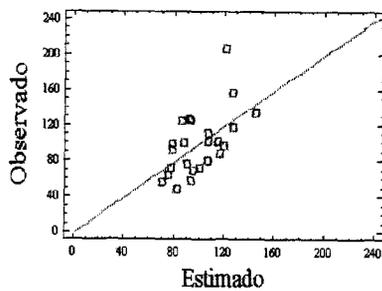
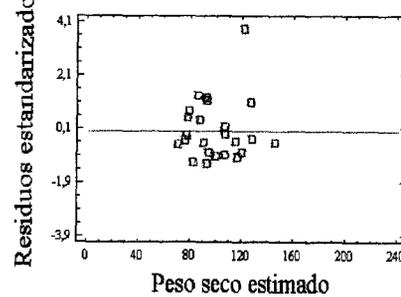
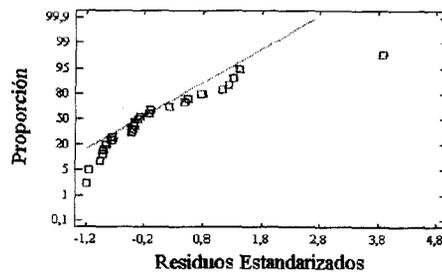
R-squared = 31.2074 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 28.2165 percent

Standard Error of Est. = 29.6821

Bartlett's test: 1.14988 P-Value = 0.238292

Shapiro-Wilks W statistic = 0.842143 P-Value = 0.000931525

PESO SECO RAMILLAS**RESIDUOS****NORMALIDAD DE RESIDUOS**

Multiple Regression Analysis

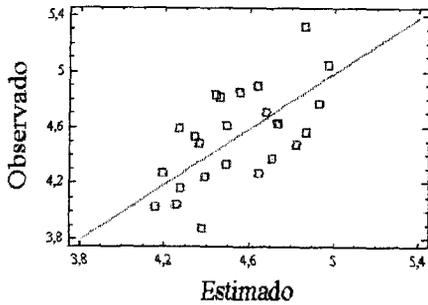
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	4.00333	0.165473	24.1933	0.0000
db^2	0.000310151	0.0000902102	3.43809	0.0022

Analysis of Variance

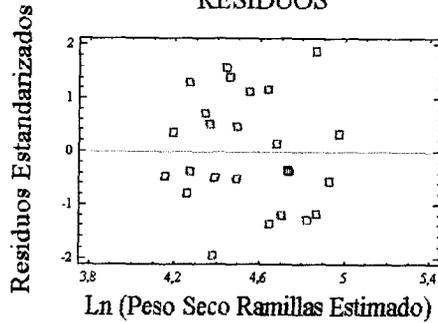
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0.932501	1	0.932501	11.82	0.0022
Residual	1.81444	23	0.0788887		
Total (Corr.)	2.74694	24			

R-squared = 33.9469 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 31.075 percent
 Standard Error of Est. = 0.280871
 Bartlett's test: 1.03345 P-Value = 0.713284
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.970208 P-Value = 0.656579

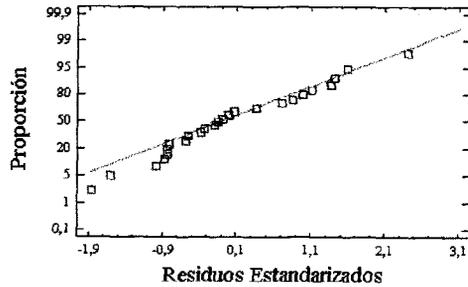
LN PESO SECO RAMILLAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



Multiple Regression Analysis

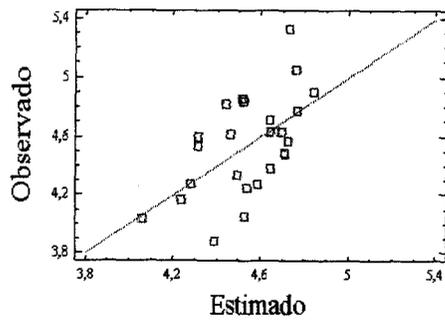
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	1.06977	1.03348	1.03512	0.3114
$\log(\text{db}^2)$	0.470114	0.139858	3.36137	0.0027

Analysis of Variance

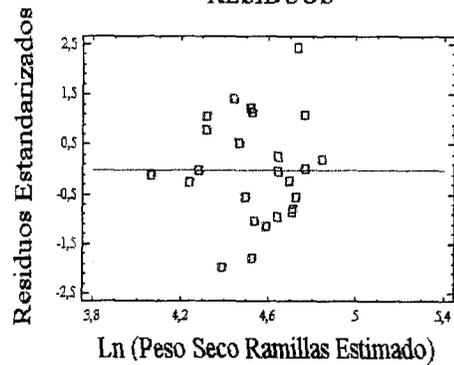
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0.904904	1	0.904904	11.30	0.0027
Residual	1.84204	23	0.0800886		
Total (Corr.)	2.74694	24			

R-squared = 32.9422 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 30.0267 percent
 Standard Error of Est. = 0.282999
 Bartlett's test: 1.07515 P-Value = 0.47513
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.982182 P-Value = 0.917868

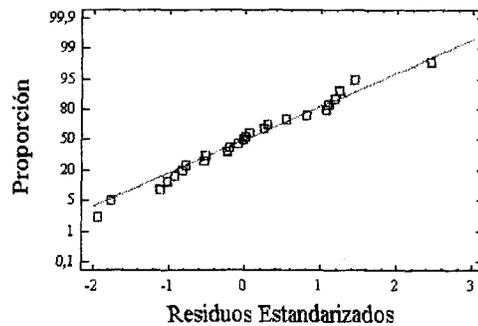
LN PESO SECO RAMILLAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO VERDE

Modelo n° 1:

$PVRS = a + b * (Db^3)$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	119.838	30.4345	3.93757	0.0007
db^3	0.00131572	0.000359569	3.65917	0.0013

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	65218.4	1	65218.4	13.39	0.0013
Residual	112030.0	23	4870.85		
Total (Corr.)	177248.0	24			

R-squared = 36.795 percent

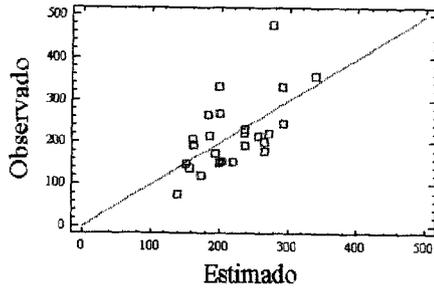
R-squared (adjusted for d.f.) = 34.047 percent

Standard Error of Est. = 69.7915

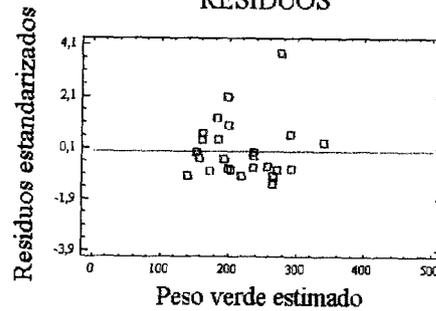
Bartlett's test: 1.12587 P-Value = 0.29597

Shapiro-Wilks W statistic = 0.83576 P-Value = 0.00068496

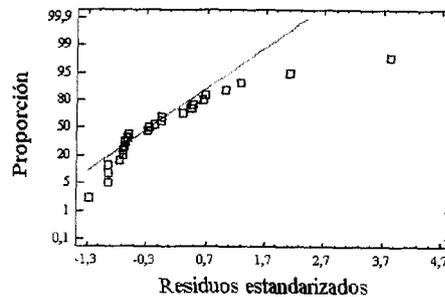
PESO VERDE RAMILLAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO VERDE

Modelo n° 2:

$Ln(PVRS) = a + b * (Db^2)$

Multiple Regression Analysis

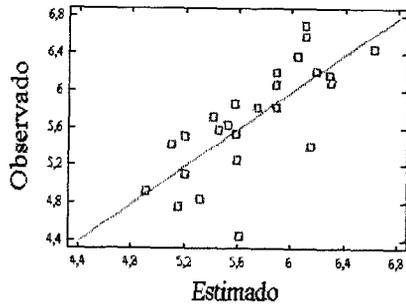
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT (DB^2)	4.63887 0.000393781	0.175458 0.0000956538	26.4386 4.11673	0.0000 0.0004

Analysis of Variance

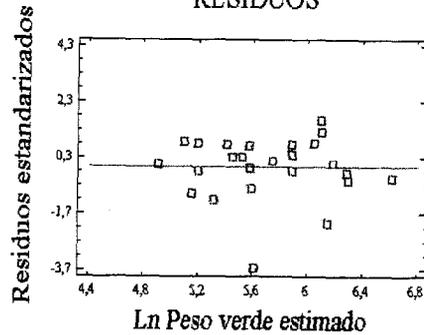
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	1.50318	1	1.50318	16.95	0.0004
Residual	2.04003	23	0.0886968		
Total (Corr.)	3.54321	24			

R-squared = 42.4244 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 39.9211 percent
 Standard Error of Est. = 0.29782
 Bartlett's test: 1.02395 P-Value = 0.784238
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.96731 P-Value = 0.587114

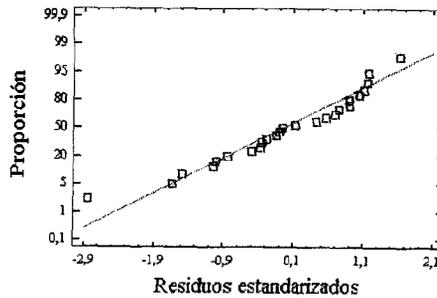
LN PESO VERDE RAMILLAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO VERDE

Modelo n° 3:

$\ln(PVRS) = a + b * \ln(Db * Dap^2)$

Multiple Regression Analysis

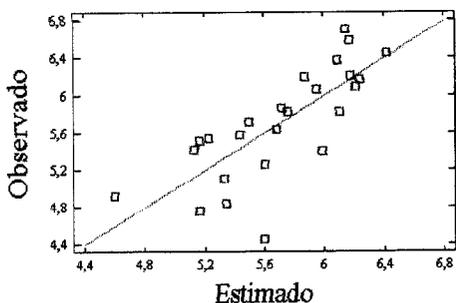
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	1.27247	0.971505	1.30979	0.2032
LOG(DB*DAP^2)	0.371168	0.0889614	4.17224	0.0004

Analysis of Variance

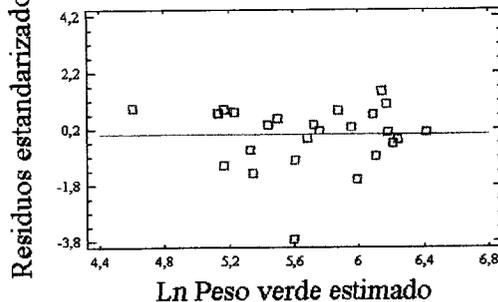
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	1.52641	1	1.52641	17.41	0.0004
Residual	2.0168	23	0.0876868		
Total (Corr.)	3.54321	24			

R-squared = 43.08 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 40.6052 percent
 Standard Error of Est. = 0.29612
 Bartlett's test: 1.02013 P-Value = 0.814932
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.940319 P-Value = 0.158257

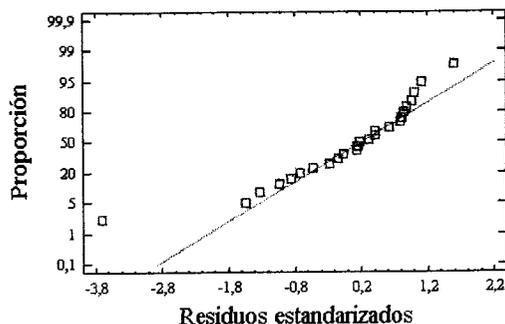
LN PESO VERDE RAMILLAS



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



13 APÉNDICE VI

Salidas de Regresión, Análisis de Varianza y gráficos para comprobar los supuestos de Homocedasticidad y Normalidad para todos los modelos generados, ya sea en Peso Seco y Peso Verde para el **Total**.

PESO SECO

Modelo n° 1:

$$PST = a + b * (Dap^{2*} Ht)$$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	103.289	30.1645	3.4242	0.0023
dap ² *ht	0.017498	0.00157521	11.1084	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	586355.0	1	586355.0	123.40	0.0000
Residual	109292.0	23	4751.83		
Total (Corr.)	695647.0	24			

R-squared = 84.2892 percent

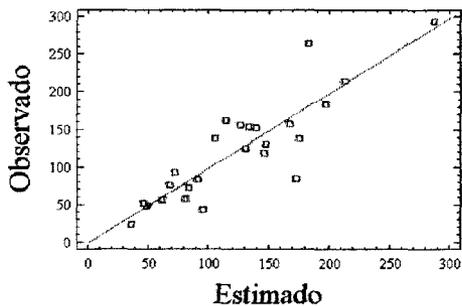
R-squared (adjusted for d.f.) = 83.6061 percent

Standard Error of Est. = 68.9335

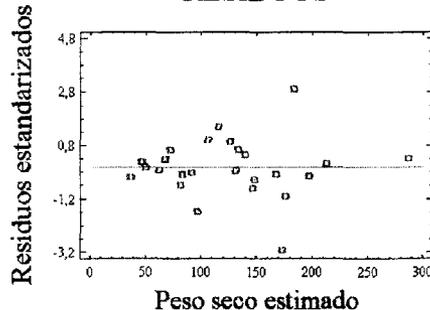
Bartlett's test: 1.03323 P-Value = 0.714815

Shapiro-Wilks W statistic = 0.941419 P-Value = 0.167784

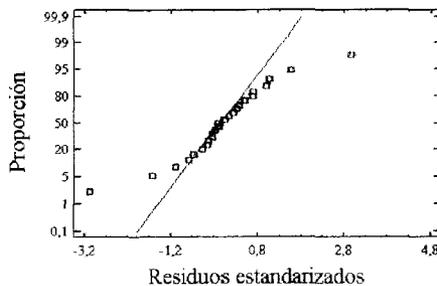
PESO SECO FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO SECO

Modelo n° 2:

$$\text{Ln}(\text{PST}) = a + b * (\text{Db} * \text{Nr} * \text{Ht})$$

Multiple Regression Analysis

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	5.30303	0.0840253	63.1123	0.0000
Db*nr*ht	0.0000302543	0.00000359602	8.41328	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	3.33883	1	3.33883	70.78	0.0000
Residual	1.0849	23	0.0471697		
Total (Corr.)	4.42373	24			

R-squared = 75.4754 percent

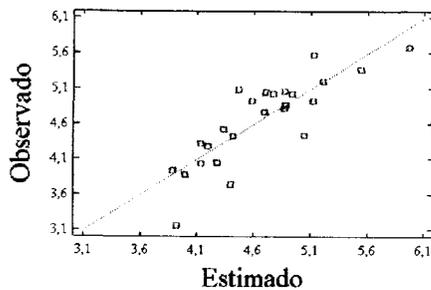
R-squared (adjusted for d.f.) = 74.4091 percent

Standard Error of Est. = 0.217186

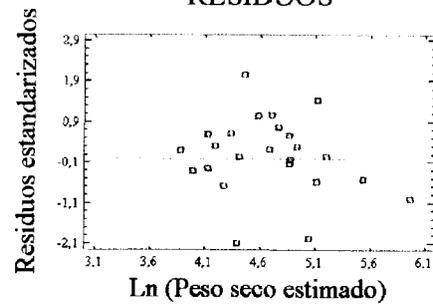
Bartlett's test: 1.06556 P-Value = 0.520944

Shapiro-Wilks W statistic = 0.956938 P-Value = 0.370126

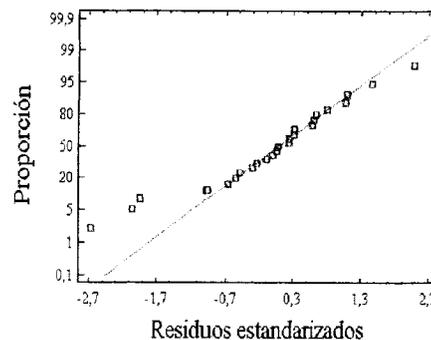
LN PESO SECO FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO SECO **Modelo n° 3:** **$\text{Ln}(\text{PST}) = a + b \cdot \text{Ln}(\text{Db}^2 \cdot \text{Ht})$**

Multiple Regression Analysis

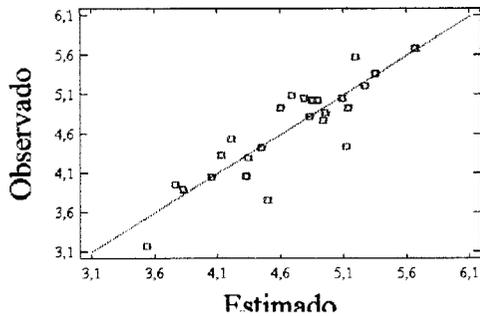
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-1.95805	0.787888	-2.48518	0.0207
$\log(\text{db}^2 \cdot \text{ht})$	0.804977	0.0805337	9.99553	0.0000

Analysis of Variance

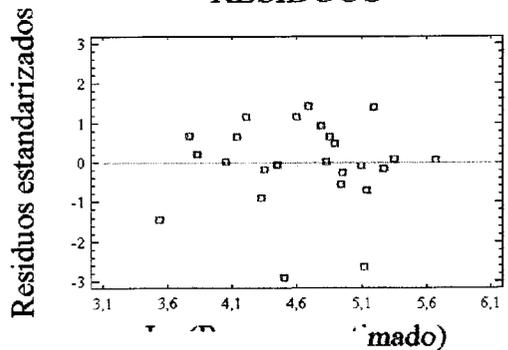
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	3.59593	1	3.59593	99.91	0.0000
Residual	0.827803	23	0.0359914		
Total (Corr.)	4.42373	24			

R-squared = 81.2872 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 80.4736 percent
Standard Error of Est. = 0.189714
Bartlett's test: 1.16061 P-Value = 0.216631
Shapiro-Wilks W statistic = 0.889022 P-Value = 0.00998141

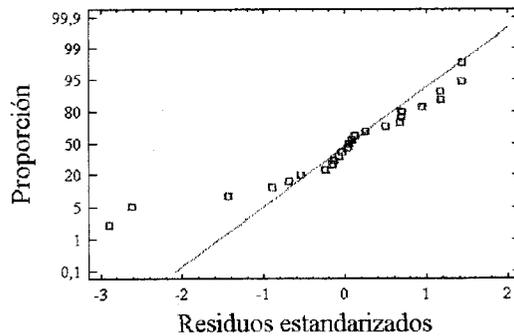
LN PESO SECO FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



Multiple Regression Analysis

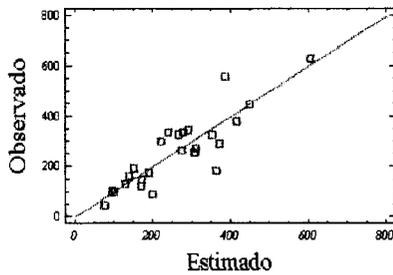
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	196.874	61.7397	3.18877	0.0041
(dap ² *ht)	0.0384061	0.00322409	11.9122	0.0000

Analysis of Variance

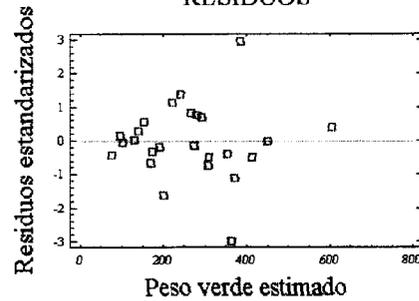
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2.82477E6	1	2.82477E6	141.90	0.0000
Residual	457852.0	23	19906.6		
Total (Corr.)	3.28263E6	24			

R-squared = 86.0523 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 85.4458 percent
 Standard Error of Est. = 141.091
 Bartlett's test: 1.0301 P-Value = 0.737421
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.899299 P-Value = 0.0172225

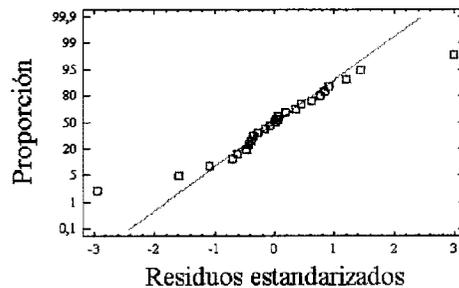
PESO VERDE FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



PESO VERDE

Modelo n° 2:

$\ln(PVT) = a + b * (Db * Nr * Ht)$

Multiple Regression Analysis

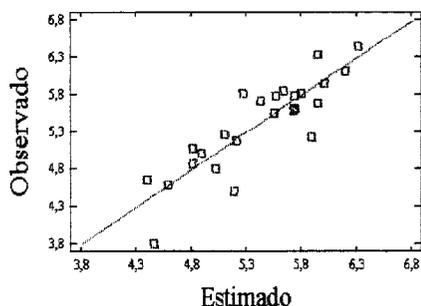
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	6.01908	0.092248	65.2489	0.0000
db*nr*ht	0.0000316573	0.00000394792	8.01873	0.0000

Analysis of Variance

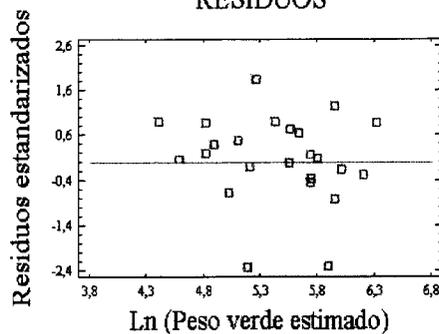
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	3.65567	1	3.65567	64.30	0.0000
Residual	1.30763	23	0.0568533		
Total (Corr.)	4.9633	24			

R-squared = 73.6541 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 72.5086 percent
 Standard Error of Est. = 0.238439
 Bartlett's test: 1.14195 P-Value = 0.255851
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.955174 P-Value = 0.339814

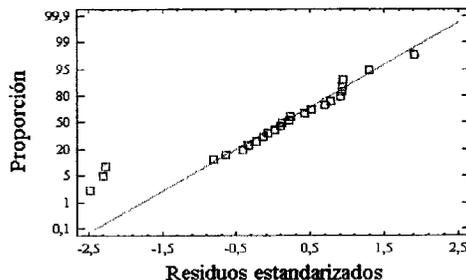
LN PESO VERDE FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS



Multiple Regression Analysis

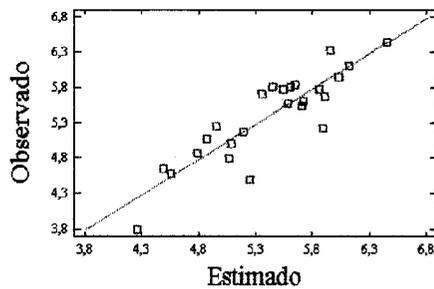
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-1.8404	0.760774	-2.41912	0.0239
$\log(db^2 * ht)$	0.869085	0.0777622	11.1762	0.0000

Analysis of Variance

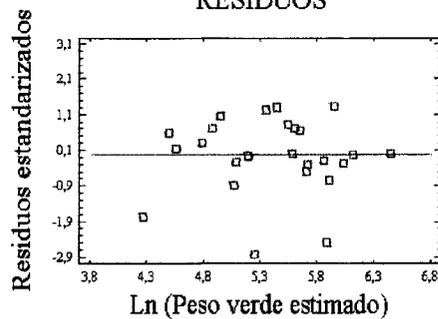
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	4.19149	1	4.19149	124.91	0.0000
Residual	0.771808	23	0.0335569		
Total (Corr.)	4.9633	24			

R-squared = 84.4497 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 83.7736 percent
 Standard Error of Est. = 0.183185
 Bartlett's test: 1.05794 P-Value = 0.560776
 Shapiro-Wilks W statistic = 0.913903 P-Value = 0.0378442

LN PESO VERDE FUSTE



RESIDUOS



NORMALIDAD DE RESIDUOS

