

FUNCIONES DE VOLUMEN Y FACTOR DE FORMA PARA RENOVALES DE COIGÜE.

Victor Cubillos Díaz, Ingeniero Forestal, División Regional, Instituto Forestal. Barros Arana 121. Concepción - Chile.

INTRODUCCION

Un antecedente básico para desarrollar esquemas de tratamientos y programas de producción para los bosques naturales chilenos, es la información de rendimiento volumétrico de las especies que los componen.

En investigaciones anteriores, se obtuvieron los rendimientos volumétricos de árboles individuales provenientes de renovales mixtos de la especie *Nothofagus alpina*, (Raulí).

Continuando esta línea de investigación básica, en este estudio se determinaron funciones de volumen total por troza y se estimó la forma para árboles de renovales de la especie *Nothofagus dombeyi*, "Coigüe", en el área de Panguipulli-Neltume.

Las variables predictoras del volumen son el diámetro con corteza (DAP cc) y la altura total (H), que otorgaron buenas relaciones funcionales.

MATERIAL Y METODOLOGIA

Material

Los datos utilizados en la construcción de las funciones de volumen para renovales de Coigüe, provienen de una muestra de 50 árboles, cosechados para efectuarles análisis de tallo (GROSSE y CUBILLOS, 1988). Específicamente la información utilizada fue el volumen total acumulado y por troza de cada árbol.

Los renovales de Coigüe muestrados, se ubican en Panguipulli-Neltume, en la cordillera de Los Andes, aproximadamente en los 39° 46' lat. Sur, provincia de Valdivia, comuna de Panguipulli, Décima Región.

El rodal donde se seleccionaron los 50 individuos de Coigüe para construir las funciones de volumen, presenta las siguientes características:

Fundo Huilo-Huilo (sector Truful)
Altitud : 615 m.s.n.m.
Exposición : Norte
Pendiente : 5%
Tipo forestal : Coigüe, Raulí, Tapa.

Las variables independientes utilizadas para predecir el volumen total y por troza fueron el DAPcc (en cm) y la altura total (en metros).

TABLA 1

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES DE ESTADO DE LOS ARBOLES-MUESTRA Y SUS COMPETIDORES PARA LA ESPECIE COÍGÜE

| Variables de Estado | N° Observ. | Valor Medio | Valor Mínimo | Valor Máximo | Coef. de Var. (%) |
|------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|
| EDAD, años | 50 | 41 | 35 | 49 | 8,5 |
| DAP, cm | 50 | 24,4 | 12,1 | 39,2 | 30,5 |
| AC, m ² | 50 | 11,2 | 2,0 | 28,7 | 55,5 |
| HTOT, m | 50 | 20,3 | 13,7 | 26,2 | 15,3 |
| HINIC, m | 50 | 11,2 | 5,9 | 17,2 | 22,0 |
| VOLTOT, m ³ | 50 | 0,423 | 0,067 | 1,239 | 68,3 |
| DCAM, cm | 50 | 0,54 | 0,29 | 0,84 | 27,2 |
| IDAPA, cm | 50 | 0,46 | 0,10 | 0,88 | 40,6 |
| IHA, m | 50 | 0,48 | 0,13 | 0,69 | 23,0 |
| IVOA, m ³ | 50 | 0,024 | 0,002 | 0,072 | 63,5 |
| DISTME, m | 50 | 3,0 | 1,2 | 5,5 | 37,7 |
| * DAPMC, cm | 50 | 27,4 | 10,4 | 60,7 | 37,6 |
| * HTOTCO, m | 50 | 20,5 | 14,8 | 30,8 | 18,6 |
| * HINICCO, m | 50 | 12,8 | 8,0 | 18,3 | 16,2 |
| * ACCO, m | 50 | 12,2 | 3,6 | 25,1 | 40,2 |

(* Los competidores no son exclusivamente Coigües.

En la Tabla 1 se presenta el rango de las variables de estado de los árboles muestra utilizados para la construcción de los modelos de volumen. Además se incluye el rango de las dimensiones de los árboles que compiten con aquellos que fueron extraídos para calcular el volumen.

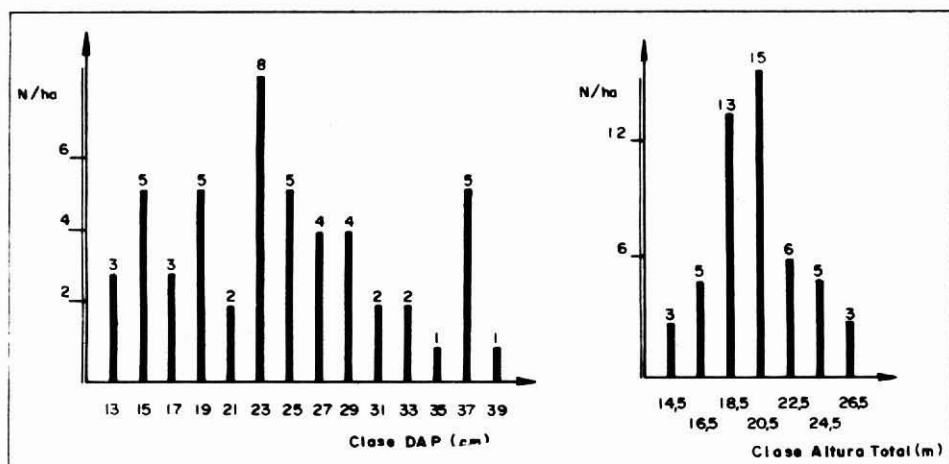
A continuación se identifica la simbología con las variables de estado que se incluyen en la Tabla 1:

- DAP : Diámetro a 1,3 m de altura del árbol con corteza, cm
- AC : Cobertura de la copa del árbol, m²
- HTOT : Altura total, m
- HINIC : Altura de inicio de la copa, m
- VOLTOT : Incremento anual medio en diámetro, m³ ssc (sólido sin corteza)
- DCAM : Incremento anual medio en diámetro, cm
- IDAPA : Incremento anual en diámetro (promedio de los últimos 5 años de crecimiento), cm.
- IHA : Incremento anual en altura (promedio de los últimos 5 años de crecimiento), m.
- IVOA : Incremento anual en volumen (producto de los últimos 5 años de crecimiento), m³ ssc
- DISTME : Distancia media a los árboles competidores, m
- DAPMC : DAP medio de los competidores, cm
- HTOTCO : Altura total media de los competidores, m
- HINICCO : Altura de inicio de la copa, media de los competidores, m
- ACCO : Cobertura de copa media de los árboles competidores, m²

En la figura 1 se muestra la distribución y el rango de las variables predictoras del volumen, DAP y altura total.

FIGURA 1

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS POR CLASE DE DIAMETRO Y ALTURA TOTAL PARA LA MUESTRA DE COIGÜE (PANGUIPULLI-NELTUME)



METODOLOGIA

Se construyeron funciones y tablas de volumen total (m³ssc) y volumen por troza de 2 m de largo (m³ssc), para la especie *Nothofagus dombeyi*, "Coigüe".

Estimación del volumen total

Para construir las funciones y tablas de volumen total, se utilizó el análisis de regresión, entre las variables independientes DAP y altura total, y la variable dependiente, volumen total. El volumen total fue calculado a partir de la información del análisis de tallo.

Los modelos de estimación aplicados son: Modelo de variables combinadas (a) y modelo del diámetro al cuadrado (b). Estos fueron seleccionados por las buenas estimaciones y bondad de ajuste obtenidos en experiencias anteriores (CUBILLOS 1988; GROSSE y CUBILLOS 1987).

Los modelos aplicados son:

| |
|--|
| modelo (a) : $V = a_0 + a_1 D^2 H$ modelo (b) : $V = a_0 + a_1 D^2$ |
|--|

Donde:

- V = Volumen total en m³ssc desde una altura de 0,3 m hasta el ápice
- D = DAP Con corteza en cm
- H = Altura total en m
- a₀, a₁ = Coeficiente de regresión

Estimación del volumen por troza

Para el cálculo del volumen por troza, se empleó la fórmula de Smalian (HUSCH, MILLER y BEERS, 1982).

$$V_i = \frac{(A_1 + A_2)}{2} \times L$$

Donde:

- V_i = Volumen de la troza "i" en m^3 ssc
- A_1 = Area del extremo inferior de la troza en m^2
- A_2 = Area del extremo superior de la troza en m^2
- L = Largo de la troza en m (en este caso es igual a 2 m)

El cálculo se realizó para trozas con un diámetro mínimo de utilización de 15 cm sin corteza.

El volumen de las trozas se ajustó con la variable DAP y altura a través de los siguientes modelos.

$$\begin{aligned} \text{modelo (a)} : V_i &= a_0 + a_1 D^2 H \\ \text{modelo (b)} : V_i &= a_0 + a_1 D \end{aligned}$$

Donde:

- V_i = Volumen de la troza "i" dos metros de largo en m^3 ssc.
- i = Número de la troza, incrementando su valor a mayor altura del árbol.
- D = DAP con corteza en cm
- H = Altura total en m
- a_0, a_1 = Coeficientes de regresión

Estimación de la forma de los árboles

La forma de los árboles fue estimada a través de los factores de forma artificial (FF1,3) y natural (FF0,1).

La fórmula general del factor de forma es:

$$FF = \frac{\text{Volumen real del árbol}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

El volumen real del árbol se obtuvo del cálculo del volumen total con el método de análisis de tallo.

Para el cálculo del Factor de Forma artificial (FF1,3), el diámetro utilizado corresponde al DAP, medido a 1,3 m de la altura del árbol.

En el cálculo del factor de forma natural (FF0,1), el diámetro utilizado para el volumen del cilindro se considera a un décimo de la altura total del árbol (diámetro medido a 1/10 de la altura total del árbol).

El volumen real y del cilindro no incluye el espesor de corteza, y se expresa en m^3 ssc sólidos sin corteza.

RESULTADOS

Resultados de la estimación del volumen total

Se presentan los dos modelos de estimación del volumen total para la especie coigüe, con sus respectivos coeficientes de correlación y bondad de ajuste (Tabla 2).

TABLA 2
COEFICIENTES Y BONDAD DE AJUSTE PARA LOS MODELOS
DE VOLUMEN TOTAL DE COIGÜES EN FUNCION DEL DAP
Y LA ALTURA TOTAL
(Area Panguipulli)

| Modelo | a_0 | a_1 | Coef. Corr. (r) | Error Cuad. Medio (ECM%) | Nº Observ. (n) |
|--|-------------|-------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|
| Modelo (b) | -0,05476487 | 0,00073611 | 0,98 | 13,89 | 50 |
| Modelo (a) | 0,01210478 | 0,000029462 | 0,99 | 6,40 | 40 |
| Modelo (a) : $V = a_0 + a_1 D^2 H$ Modelo (b) : $V = a_0 + a_1 D^2$ | | | | | |

También se presenta la tabla de volumen asociada a la función de volumen total (m^3 ssc) del modelo de variables combinadas (Tabla 3).

TABLA 3
VOLUMEN CUBICO POR CLASE DE DAP Y ALTURA TOTAL PARA COIGÜE
(Area de Panguipulli)

| Clase DAP (cm) | CLASE DE ALTURA (m) | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Volumen cúbico (m^3 s. s. c.) | | | | | | |
| 6 | 0,0174 | 0,0227 | 0,0280 | | | |
| 8 | 0,0215 | 0,0310 | 0,0404 | | | |
| 10 | 0,0268 | 0,0416 | 0,0563 | | | |
| 12 | 0,0333 | 0,0545 | 0,0757 | 0,0970 | | |
| 14 | 0,0410 | 0,0699 | 0,0987 | 0,1276 | | |
| 16 | 0,0498 | 0,0875 | 0,1252 | 0,1630 | | |
| 18 | 0,0598 | 0,1076 | 0,1553 | 0,2030 | | |
| 20 | 0,0710 | 0,1300 | 0,1889 | 0,2478 | 0,3067 | |
| 22 | | 0,1547 | 0,2260 | 0,2973 | 0,3686 | |
| 24 | | 0,1818 | 0,2667 | 0,3515 | 0,4364 | 0,5212 |
| 26 | | 0,2113 | 0,3108 | 0,4104 | 0,5100 | 0,6069 |
| 28 | | 0,2431 | 0,3586 | 0,4741 | 0,5896 | 0,7051 |
| 30 | | 0,2773 | 0,4098 | 0,5424 | 0,6750 | 0,8076 |
| 32 | | | 0,4646 | 0,6155 | 0,7663 | 0,9172 |
| 34 | | | 0,5230 | 0,6933 | 0,8636 | 1,0338 |
| 36 | | | 0,5848 | 0,7758 | 0,9667 | 1,1576 |
| 38 | | | | 0,8630 | 1,0757 | 1,2884 |
| 40 | | | | 0,9549 | 1,1906 | 1,4263 |

$$V = 0,01210478 + 0,000029462 D^2 H$$

$$r = 0,99$$

$$ECM\% = 6,4$$

$$n = 50$$

----- = El marco de líneas discontinuas representa el límite del rango muestral.

Resultados de la estimación del volumen por troza

Se presentan los resultados en tablas que contienen los coeficientes y bondad de ajuste para los dos modelos de estimación del volumen según la troza indicada. (Tablas 4 y 5).

TABLA 4
FUNCIONES DE VOLUMEN PARA TROZOS DE COIGÜE,
(Largo: 2 m; Diámetro mínimo: 15 cm)
 $V = a_0 + a_1 D^2 H$

| Troza N° | a ₀ | a ₁ | Error Standard (%) | Coef. Correlación (r) | N° Muestras (n) |
|----------|----------------|----------------|--------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | 0,020118 | 0,000005 | 13,4 | 0,96 | 42 |
| 2 | 0,016934 | 0,000004 | 14,2 | 0,95 | 40 |
| 3 | 0,010909 | 0,000004 | 14,6 | 0,95 | 38 |
| 4 | 0,003874 | 0,000004 | 10,0 | 0,98 | 32 |
| 5 | 0,005322 | 0,000003 | 9,8 | 0,97 | 25 |
| 6 | -0,001080 | 0,000003 | 11,0 | 0,96 | 18 |
| 7 | -0,002130 | 0,000002 | 14,9 | 0,91 | 13 |

TABLA 5
FUNCIONES DE VOLUMEN PARA TROZOS DE COIGÜE
(Largo: 2 m; Diámetro mínimo: 15 cm)
 $V = a_1 D^2$

| Troza N° | a ₁ | Error Standard (%) | Coef. Correlación (r) | N° Muestras (n) |
|----------|----------------|--------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | 0,000151 | 12,5 | 0,96 | 42 |
| 2 | 0,000125 | 12,1 | 0,96 | 40 |
| 3 | 0,000112 | 16,4 | 0,94 | 38 |
| 4 | 0,000101 | 13,2 | 0,96 | 32 |
| 5 | 0,000086 | 14,7 | 0,93 | 25 |
| 6 | 0,000072 | 17,8 | 0,88 | 18 |

Utilizando el modelo (b) $V = a_1 D^2$ se generó una tabla de volumen a la troza indicada para la especie Coigüe (ver Tabla 6).

TABLA 6
TABLA DE VOLUMEN POR TROZA PARA COIGÜE
(Fundos: Neltume y Huilo-Huilo)

| CLASE DAP (cm) | VOLUMEN POR TROZA (m ³ ssc) (Trozas de 2m de largo y diámetro menor ssc > 15 cm) | | | | | | VOLUMEN ACUMULADO (m ³ ssc) |
|----------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| | Troza 1 | Troza 2 | Troza 3 | Troza 4 | Troza 5 | Troza 6 | |
| 16 | 0,039 | | | | | | 0,039 |
| 18 | 0,049 | 0,041 | | | | | 0,090 |
| 20 | 0,060 | 0,050 | 0,045 | | | | 0,155 |
| 22 | 0,073 | 0,061 | 0,054 | 0,049 | | | 0,237 |
| 24 | 0,087 | 0,072 | 0,065 | 0,058 | 0,050 | | 0,332 |
| 26 | 0,102 | 0,085 | 0,076 | 0,068 | 0,058 | 0,049 | 0,438 |
| 28 | 0,118 | 0,098 | 0,088 | 0,079 | 0,067 | 0,056 | 0,560 |
| 30 | 0,136 | 0,113 | 0,101 | 0,091 | 0,077 | 0,065 | 0,583 |
| 32 | 0,155 | 0,128 | 0,115 | 0,103 | 0,088 | 0,074 | 0,663 |
| 34 | 0,175 | 0,145 | 0,129 | 0,117 | 0,099 | 0,083 | 0,748 |
| 36 | 0,196 | 0,162 | 0,145 | 0,131 | 0,111 | 0,093 | 0,838 |
| 38 | 0,218 | 0,181 | 0,162 | 0,146 | 0,124 | 0,104 | 0,935 |
| 40 | 0,242 | 0,200 | 0,179 | 0,162 | 0,138 | 0,115 | 1,036 |

Resultados del factor de forma

Se calculó un valor medio de los factores de forma natural (FF0,1) y artificial (FF1,3), con los árboles muestra que presentaban un DAP mayor a 15 cm. Además se calculó un rango de confianza para el valor medio.

TABLA 7
RANGO DE VARIACION Y VALOR MEDIO PARA LOS FACTORES DE FORMA
NATURAL Y ARTIFICIAL DE COIGÜE
(Panquipulli - Neltume)

| FACTOR DE FORMA | Valor Medio | Rango de Variación |
|-------------------------------------|-------------|--------------------|
| Factor de forma natural (FF0, 1) | 0.4286 | 0,4368 - 0.4204 |
| Factor de forma artificial (FF1, 3) | 0,4279 | 0.4376 - 0.4182 |

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- GROSSE, H. y CUBILLOS, V. (1987). Estudio de renovales Raulí. CORFO/INFOR.
- GROSSE, H., CUBILLOS, V., BOURKE, M. (1988). Investigación Manejo Silvícola de diferentes tipos de bosques nativos (Informe final). CORFO/INFOR.
- HUSCH, B., MILLER, CH. y BEERS, T. (1982). FOREST MENSURATION. John Wiley & Sans, Inc. Canadá. 401 pp.