

## ESTIMACIÓN DE ALTURAS PARA SU EMPLEO EN TABLAS DE VOLUMEN DE ÁRBOL INDIVIDUAL

*Using height estimates to develop individual tree volume tables*

Ernesto Andenmatten<sup>1</sup>, Federico Letourneau<sup>1</sup>

Recibido en octubre de 1996; aceptado en octubre de 1997

### RESUMEN

Para su empleo en la determinación del volumen de un rodal, se presenta un método de muestra reducida en la estimación de alturas de árbol individual.

El objetivo es estimar volumen de rodal. La relación altura-diámetro establecida no debe tomarse como una descripción precisa de la estructura de alturas.

Se probó el método en parcelas de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws), pino Oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) y pino radiata (*Pinus radiata* (D. Don)) cultivados en la región andino patagónica de las provincias de Chubut y Río Negro, Argentina, donde una muestra de alturas de cuatro ejemplares por parcela dió resultados aceptables en comparación con aquella que utiliza 12 árboles.

Se concluye que el método es seguro e insesgado respecto al método tradicional de establecer la muestra de alturas y puede significar un importante ahorro de tiempo y esfuerzo en la estimación del volumen del rodal.

Se maximiza el empleo de recursos cuando los árboles dominantes seleccionados corresponden a los empleados en determinar índice de sitio.

**Palabras clave:** Estimación de alturas, relación altura-dap, volumen individual,

### ABSTRACT

A method to estimate individual tree height from reduced samples is described. The method can be used in determining stand volume.

The established height-dbh relationship should not be considered as a precise description of height structure.

The method was tested on plots of ponderosa pine (*Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws), Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), and radiata pine (*Pinus radiata* (D. Don)) in the Andean region of the provinces of Chubut and Río Negro, Argentina. A height sample consisting of four trees per plot yielded acceptable volume estimates, when compared with a 12-tree sample.

It was concluded that the method is reliable and unbiased in relation to the traditional height sampling technique, and it may result in a significance saving of time and effort when estimating stand volume.

Resource utilization is maximized when the selected dominant trees are the same as those used to determine site index.

**Key words:** Height estimation, height-dbh relationship, individual tree volume, stand

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal, Campo Forestal Gral. San Martín, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), C.C. 26, 8430 El Bolsón, Río Negro, Argentina. E-mail: campfor@elhoyo.dataco41.com.ar

## 1. INTRODUCCIÓN

Para estimar el volumen de coníferas generalmente se siguen métodos indirectos empleando tablas de volumen de árbol individual (V), y entre las opciones posibles, aquellas que utilizan el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura del individuo (h) son de uso corriente (Clutter et al., 1983):

$$V = f(\text{DAP}; h) \quad (1)$$

En la práctica se miden los DAP de todos los individuos de la parcela, y las alturas se estiman por un procedimiento de submuestreo, estableciéndose luego una relación del tipo

$$h = f(\text{DAP}) \quad (2)$$

Reemplazando (2) en la expresión (1), tendremos lo que se denomina una tabla local de volumen o de simple entrada (Clutter et al., 1983):

$$V = f(\text{DAP}) \quad (3)$$

Existen diversos criterios al seleccionar la submuestra de alturas para cubrir el rango de DAP de la parcela, pero siempre bajo la premisa de reducir la misma hasta donde la tolerancia de errores lo permita. Ello se explica en las dificultades de medición de alturas en pie (Zakrzewski y Ter-Mikaelian, 1993), que presenta en general errores importantes y es cara (O'Regan y Arvanitis, 1966; Mariot, 1988).

A pesar de ello, en general las muestras no son pequeñas, y requieren de al menos el 20% de los DAP medidos, o de un número fijo mínimo (Thren, 1993). Numerosos autores han trabajado sobre este tema explicando alternativas para reducir el tamaño de la misma (Zakrzewski y Ter-Mikaelian, 1993), o explicando métodos alternativos para evitarla (Zakrzewski y Ter-Mikaelian, 1993; Mariot, 1988). Se propone la utilización de una submuestra reducida de alturas para su empleo en la estimación del volumen del rodal.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

De 11 parcelas experimentales con superficies entre 1.500 y 2.000 m<sup>2</sup>, se dispuso de:

- datos de inventarios, donde todos los DAP fueron medidos con cinta diamétrica, y
- una submuestra de 12 individuos promedio por parcela (submuestra completa) (tabla 1) cubriendo el rango de DAP en forma sistemática. Los mismos fueron apeados y medidos en su longitud total con cinta métrica.

Se estableció que la relación h-DAP para cada una de las parcelas, empleando para su ajuste las submuestras completas, podía representarse adecuadamente, utilizando la expresión:

$$h = a + b \log (\text{DAP}) \quad (4)$$

donde:

$h$  = altura del árbol individual en metros.

DAP = diámetro a la altura del pecho en milímetros.

$a$  y  $b$  = coeficientes del modelo.

log = logaritmo con base decimal.

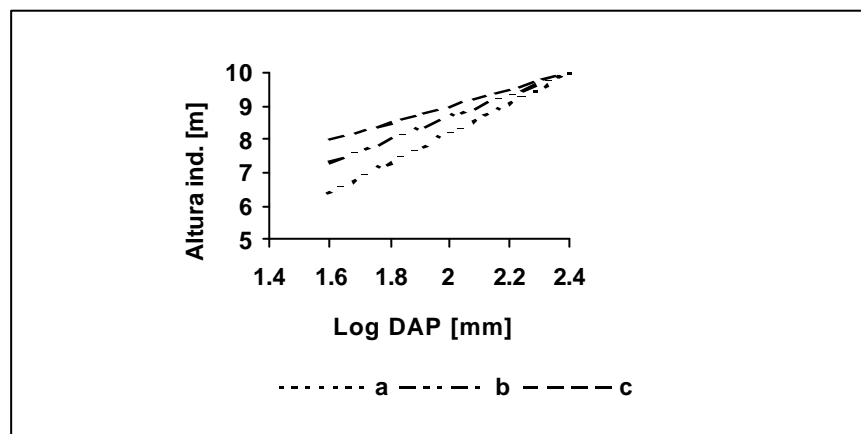
La relación h-dap ajustada, presentada en un sistema ortogonal semilogarítmico (log(DAP)), tiende a una recta (figura 1).

Como hipótesis se adoptó que esta recta puede definirse utilizando los extremos de la distribución diamétrica presente en las parcelas, si se encuentran sus correspondientes valores h-DAP que sean "estables" y "objetivos" (submuestra reducida).

Se escogió de las submuestras completas aquellos árboles que caracterizaran los extremos de la estructura y que pueden definirse objetivamente, como lo son:

- a) La porción dominante. A través de ella se estima el índice de sitio (IS) y, aunque existen diversos métodos para elegir los árboles que se emplean en su determinación (Zeide y Zarkzewski, 1993), una vez establecido el criterio, éste será objetivo. Por otra parte, cada individuo aporta un importante porcentaje de la masa del rodal, lo cual justifica centrar en ellos la mayor atención para la estimación del volumen (Wabo, 1994; Zhang et al., 1993). Para definir la altura dominante se utilizaron los tres árboles más gruesos de cada submuestra completa.
- b) La porción oprimida. Presenta ápices de fácil visualización y, dado que el objetivo de este segundo punto es fijar la dirección de la recta, su importancia relativa es menor, como demostraremos al momento de expresar su influencia en el volumen total de los rodales. Se tomó el árbol más delgado de la submuestra completa.

**Figura 1.** Distintas rectas ajustadas empleando los mismos individuos que defi-



nen la porción dominante, y tres individuos de similar DAP, pero muy diferentes alturas (a; b; c). Se ha exagerado en este caso la selección de los individuos oprimidos para poner énfasis en la explicación.

Con los datos de la submuestra reducida se estableció la relación (4), disponiéndose así de dos relaciones h-dap, con las que se realizó la volumetría de cada parcela.

Las tablas de volumen individual utilizadas fueron de variable combinada:

$$V = a + b (h \text{ DAP}^2)$$

donde:

V: es el volumen (m<sup>3</sup>) de cada individuo

y sus coeficientes para:

pino Oregon: a = 0,02217; b = 3,1855E-5 (Rey et al., 1995)

pino ponderosa: a = 0,02985; b = 3,2722E-5 (Andenmatten et al., 1995).

En pino radiata, se emplearon los mismos coeficientes de pino ponderosa.

Para probar la hipótesis nula que el volumen bruto total con corteza, en metros cúbicos por hectárea, puede estimarse en forma precisa, ya sea que se emplee una submuestra completa como una reducida de alturas y diámetros, se estableció un test de "t" de muestras pareadas, a un nivel de significancia del 5 % (Panse y Sukatme, 1962).

En segundo lugar, se analizó el efecto sobre el volumen estimado de seleccionar diferentes individuos oprimidos (oprimido 1 y oprimido 2, figura 2), manteniendo los mismos ejemplares que fijan la altura de la porción dominante

A fin de destacar su posible efecto, se han elegido ex-profeso árboles oprimidos de DAP similar pero muy diferentes en altura, ilustrando su resultado en la relación de alturas, volúmenes individuales, volumen por clase diamétrica y volumen de rodal.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La máxima diferencia porcentual en volumen por hectárea, debida a la estimación de alturas por el método de submuestra reducida respecto al de submuestra completa, fue de 6,1 % (tabla 1), siendo en promedio de 2 %.

**Tabla 1.** Volúmenes estimados para 11 parcelas, utilizando una submuestra completa de h-DAP, Vol (a) y una submuestra reducida Vol (b) para establecer la relación h-dap

Parcela, especie y fecha de inventario	N° de árboles muestra	Vol (a) (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (b) (m <sup>3</sup> /ha)	Error (%), base Vol (a)
SCH., Oregon, 1992	9	759	751	-1,1
SCH., Oregon, 1989	13	812	803	-1,1
P 31, Oregon, 1987	13	894	876	-2,0
P 37, Oregon, 1989	11	902	917	1,7
P 42, ponderosa	16	1.169	1.169	0,0
P 109, radiata	11	711	703	-1,1
P 30, ponderosa	8	751	757	0,8
Radal, P1, Oregon, 1991	15	232	220	-5,2
Cohiue, P2, Oregon, 1992	14	149	148	-0,7
Tern., P1, Oregon, 1992	14	254	262	3,1
Foyel, P1, Oregon, 1993	12	206	219	6,1

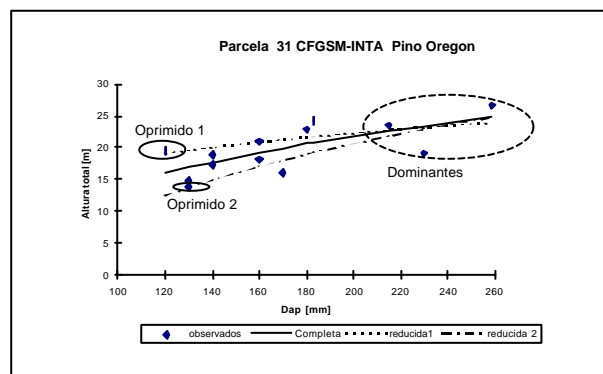
En el test de muestras pareadas la probabilidad asociada al estadístico calculado indica que no hay argumentos para rechazar la hipótesis nula de que el promedio de las diferencias para las once parcelas es cero (tabla 2).

**Tabla 2.** Prueba de "t" para las diferencias de volúmenes según método de estimación de alturas

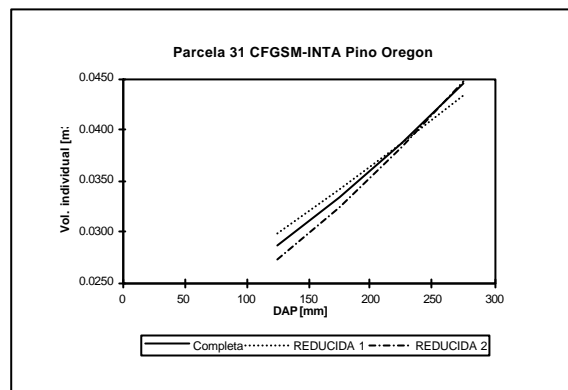
Grados de libertad	10
Promedio de las diferencias absolutas en volumen (m <sup>3</sup> /ha)	1,3
Desviación estándar	10,74
Coefficiente de variación (%)	8,3
Estadístico "t" calculado	0,3929
Probabilidad asociada (%)	70,02

Analizando como ejemplo la parcela P31, Oregon 1987, podemos observar que, a medida que nos alejamos de la porción dominante, las diferencias en las estimaciones de alturas utilizando las submuestras reducidas, respecto de la submuestra completa, son mayores ( $\pm 3\%$  para los diámetros mayores,  $\pm 19\%$  para los diámetros menores), dependiendo esto de la elección del individuo de la porción oprimida, por lo que es de esperar una muestra sesgada al ser pequeño el número de árboles seleccionados (figura 2). Pero para los árboles co-dominantes este apartamiento es menor ( $-2\%$ ) dada la relativa cercanía a los árboles dominantes.

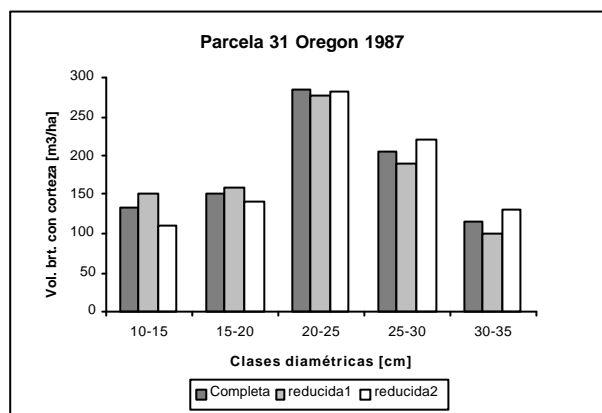
Estas diferencias en alturas tienen una influencia relativa pequeña sobre el volumen individual ( $\pm 1,5\%$  para los diámetros mayores y  $\pm 4,5\%$  para los diámetros menores) (figura 3) que, al multiplicarse por el número de árboles de la clase diamétrica, generan diferencias en volumen del orden de  $\pm 14\%$  para los extremos de la distribución y del  $1\%$  en promedio para las clases intermedias (figura 4). Este arreglo de diferencias por clases diamétricas al estimar las alturas según distintas muestras reducidas da un error de  $-2\%$  y  $-1\%$  (reducida 1 y reducida 2) en la estimación del volumen para la parcela P31, 1987, de pino Oregon (tabla 3).



**Figura 2.** Relaciones h-DAP establecidas utilizando la submuestra completa y dos submuestras reducidas que difieren en el árbol de la porción oprimida (oprimido 1 y oprimido 2) para P31 pino Oregon.



**Figura 3.** Volumen de árbol individual para la P31, pino Oregon, según se utilice la relación h-DAP determinada con una submuestra completa o reducida



(reducida 1 y reducida 2)

**Figura 4.** Volumen por clases diamétricas según se utilice la relación h-dap determinada con una submuestra completa o reducida (reducida 1 y reducida 2)

**Tabla 3.** Estimación de volúmenes por hectárea para una misma parcela, utilizando relaciones h-DAP determinadas con una submuestra completa y con dos submuestras reducidas que difieren en los árboles seleccionados de la porción oprimida

Relación h-DAP utilizada	P31 pino Oregon		P42 pino ponderosa	
	Vol estimado (m³/ha)	Error porcentual	Vol estimado (m³/ha)	Error Porcentual
con todos	894		1.169	
reducida 1	876	-2 %	1.168	-0,08 %
reducida 2	884	-1 %	1.183	1,2 %

La efectividad del método está principalmente determinada por una adecuada selección de los árboles dominantes. Una correcta estimación de las alturas de esta porción asegura que la masa principal esté bien representada.

La porción codominante, por su cercanía en DAP a la dominante, no tendrá mayores apartamientos en la estimación de las alturas y por lo tanto las diferencias del volumen estimado no son importantes.

Para seleccionar los árboles de la porción dominante creemos que se deberían seguir los criterios que se adopten para establecer el índice de sitio. Zeide y Zarkzewski (1992) discuten los métodos clásicos y proponen un método combinado; pero independientemente del método, creemos que lo importante es que todos buscan un marco objetivo que, una vez establecido, debería dar el mismo resultado para cualquier operador.

En la selección de la muestra de oprimidos hemos utilizado sólo un ejemplar. Como estos individuos son pequeños, en general tendrán ápices de fácil visualización, lo que mejora la posibilidad de realizar rápidas y buenas mediciones con los instrumentos habitualmente empleados, permitiendo aumentar el tamaño de la muestra si el nivel de precisión así lo requiere. Los autores han encontrado buenos resultados aún apreciando visualmente la altura de estos individuos.

Debe recordarse que habitualmente no se dispone de información de árboles apeados y cuidadosamente medidos, y que es posible que mediciones en pie generen diferencias mayores que las aquí presentadas. Para el método tradicional, realizar mediciones en numerosos árboles codominantes no es una tarea sencilla, y, cuando se aumenta el número de mediciones, se corre el riesgo de aumentar los errores personales.

Consideramos superfluo demostrar el ahorro de tiempo y esfuerzo al aplicar el método, pero toda vez que el número de ejemplares de la muestra de alturas es menor, se generará un ahorro proporcional. Puede consultarse al respecto la obra O'Reagan y Arvanitis (1966), donde, entre otros componentes, el costo de cada muestra está influenciado por el tamaño de la misma (número de árboles).

#### 4. CONCLUSIONES

En nuestros estudios dasométricos sobre pino ponderosa y pino Oregon, encontramos que es factible reducir la submuestra de alturas, si los resultados se evalúan en su incidencia sobre el volumen total de la parcela o rodal.

En base a los errores de estimación del volumen de un rodal y al test de muestras pareadas, entendemos que la utilización de este método es seguro, insesgado y de sencilla implementación en comparación con los tradicionales.

El realizar mediciones sobre árboles dominantes, hace posible su aplicación para estimar el índice de sitio, logrando ambas muestras en una sola operación de campo.

## AGRADECIMIENTOS

A los propietarios de plantaciones que nos permitieron cortar y utilizar el material base de este estudio.

Los fondos que posibilitaron la realización de este trabajo fueron aportados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Universidad Nacional de la Patagonia, Consejo de Ciencia y Técnica de la Provincia del Chubut y Cooperadora del Campo Forestal Gral. San Martín - INTA.

## REFERENCIAS

- Andenmatten, E., M. Rey y F. Letourneau. 1995. Pino ponderosa (*Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws.). Tabla de volumen estándar de aplicación en la región andina de Río Negro y Chubut. Actas IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes, Neuquén, Argentina: 266-271.
- Clutter, J. L.; J. Forston; L. Pienaar; G. Brister y R. Bailey. 1983. Timber management. A quantitative approach. John Wiley & Sons. 333 p.
- Mariot, V. 1988. Tablas de cubicación de madera en pie en montes implantados, ventajas y desventajas en el uso de las variables DAP, alturas y coeficientes de formas. Actas del VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero, Argentina, Tomo II: 444-448
- O'Reagan, W. G. y L. G. Arvanitis. 1966. Cost-effectiveness in forest sampling. Forest Science 12(4): 406-414.
- Panse, V. G. y P. V. Sukhatme. 1963. Métodos estadísticos para investigadores agrícolas. Secretaría de Economía, Fondo de Cultura Económica, México.
- Rey, M., E. Andenmatten y F. Letourneau. 1995. Tarifa de volumen para pino Oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en la región andina de las provincias de Río Negro y Chubut. Actas IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes, Neuquén, Argentina: 306-311
- Thren, M. 1993. Dasometría. Apuntes de clase. Serie Técnica Forestal, UNSE/GTZ, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. 182 p.
- Wabo, E. 1994. Comunicación personal.
- Zakrzewski, W. T. y M. Ter-Mikaelian. 1993. New application of a polynomial curve to plot volume estimation. Canadian Journal of Forest Research. 24: 1083-1088.
- Zeide, B. y W. T. Zakrzewski. 1992. Selection of site trees: the combined method and its application. Canadian Journal of Forest Research 23: 1019-1025.
- Zhang, L., J. A. Moore y J. D. Newberry. 1993. Disaggregating stand volumen growth to individual trees. Forest Science 39 (2): 295-308.

