

## Comparación entre la exactitud relativa de la forcípula y de la cinta diamétrica en la determinación del DAP, el área basal y el volumen

*Comparison between the relative accuracy of the tree caliper and the diameter tape in the measurement of dbh, basal area and tree volume*

Wabö E.<sup>1</sup>; J. M. Cellini<sup>1,2</sup>; G. Martínez Pastur<sup>2</sup> y M. V. Lencinas<sup>2</sup>

Recibido en diciembre de 2003; aceptado en octubre de 2007

### RESUMEN

El estudio compara la exactitud relativa de diámetros a la altura del pecho (DAP) obtenidos a partir de mediciones hechas con calibre forestal y con cinta diamétrica. Con el calibre forestal se determinaron cuatro DAP: el correspondiente a una sola lectura, la media aritmética y media geométrica de dos diámetros cruzados, y la media aritmética de tres diámetros cruzados. A partir de estos DAP se determinaron valores de área basal y volumen a nivel de árbol, y de área basal y volumen a nivel de hectárea. El DAP obtenido como media aritmética de los dos diámetros cruzados se tomó como DAP de referencia, y su área basal y volumen como valores de referencia. Se trabajó con árboles de *Nothofagus pumilio* ubicados en bosques nativos de la isla grande de Tierra del Fuego (Argentina). A nivel de árbol, los valores de DAP, área basal y volumen correspondientes a las mediciones con calibre forestal mostraron diferencias inferiores al 0,5% con los correspondientes testigos; los mismos valores obtenidos a partir de la cinta mostraron diferencias entre el 3% y el 4% con el tratamiento testigo. A nivel de hectárea se repitieron los resultados, con diferencias no mayores al 0,4% para los tratamientos con calibre forestal, y entre 3% y 4% para los tratamientos con cinta. Los valores más bajos correspondieron a la media geométrica de dos diámetros cruzados y los mayores a los obtenidos a partir de la cinta. No se observaron diferencias de DAP, de área basal y de volumen, tanto a nivel de árbol como a nivel de superficie, entre los valores obtenidos con una medición con calibre y el promedio aritmético de dos diámetros cruzados.

**Palabras clave:** Medición del diámetro; Inventario forestal; *Nothofagus pumilio*; Tierra del Fuego.

### ABSTRACT

The study compare the relative accuracy of DBH measured with caliper and diameter tape. Four diameters were measured with the caliper in each normal cross section: that corresponding to only one diameter with the beam oriented to the center of the plot, those corresponding to the arithmetic and geometric means of two diameters measured perpendicular to each other, and the arithmetic mean of three diameters. From these five DBH the basal area and the volume was calculated for each sample tree. With these values the corresponding basal area and volume density per hectare was determined. The arithmetic mean of the two diameters measured perpendicular to each other was considered as the reference DBH, and so was with the basal area and volume associated. The study was made with trees of *Nothofagus pumilio* growing in the native forests of Tierra del Fuego (Argentina). At the tree level, the values for DBH, basal area, and volume determined with the tree caliper showed differences lower than 0.5% against the control; the same parameters exhibit differences between 3% and 4% when compared with the diametric tape. At hectare level, the results showed the same differences being no higher than 0.4% when the caliper was used, and between 3% and 4% when determined using the tape. The lowest values were those corresponding to the geometric mean of two perpendicular diameters while the highest to those obtained out of the tape. No differences among the determination of DBH, basal area and volume obtained from a single reading using caliper and from the arithmetic average of two perpendicular diameters were observed both at tree and area level.

**Keywords:** DBH measurement; Forest inventory; *Nothofagus pumilio*; Tierra del Fuego.

<sup>1</sup> Cátedra de Biometría Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Argentina. Dirección postal: CC 31 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

E-mail: dasometria@ceres.agro.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> Centro Austral de Investigaciones Científicas (CONICET) Argentina.

## 1. INTRODUCCION

El diámetro a la altura del pecho o diámetro normal a 1,3 m DAP es la medida del árbol más utilizada en la biometría forestal (Avery y Burkhart, 1994), debido a la información que permite obtener del árbol y del rodal en forma directa o indirecta. Particularmente se destaca su aplicación en el cálculo de áreas basales, y en el cálculo de volúmenes a partir de tablas o ecuaciones de volumen. Es por estas razones que la exactitud con la cual se mide el DAP es un aspecto importante a tener en cuenta al momento de realizarse un inventario forestal.

Los instrumentos más difundidos en la medición del DAP son la cinta diamétrica y la forcípula o calibre forestal de brazo móvil (Husch et al., 1982; Avery y Burkhart, 1994, Clark et al., 2000). La cinta diamétrica mide el perímetro de la sección siguiendo la línea convexa que la encierra (Matérn, 1984; Clark et al., 2000), en tanto que la forcípula mide la distancia entre dos líneas paralelas tangentes a una región convexa cerrada (Clark et al., 2000). Si la sección transversal a la altura del pecho del árbol fuese exactamente circular, al aplicarse las fórmulas de área y perímetro correspondientes al círculo, los DAP medidos con forcípula y cinta diamétrica serían idénticos y exactos. Sin embargo, la forma de la sección no es exactamente circular, por lo que las fórmulas de cálculo asociadas al círculo no permiten que los instrumentos mencionados brinden resultados ni exactos ni idénticos. Para resolver este inconveniente, Husch et al. (1982) establecen que el objetivo en la medición de cualquier diámetro del árbol es obtener el diámetro de un círculo de igual área que la sección transversal de interés, al que llaman diámetro “verdadero”.

Para mejorar la medición del diámetro “verdadero” cuando se utiliza la forcípula, se han propuesto variantes, siendo la más común tomar como medida del DAP el promedio aritmético de dos diámetros medidos en forma cruzada, uno perpendicular al otro (Husch et al., 1982). Por otra parte, si la forma de la sección fuese exactamente elíptica, la media geométrica de los diámetros mayor y menor de la elipse, perpendiculares entre sí, representaría el diámetro “verdadero”. Pero la sección rara vez es elíptica, y aunque lo fuera es muy difícil identificar a simple vista los diámetros mayor y menor de esa elipse. La cinta diamétrica suele sobrestimar (sesgo positivo) el DAP, debido a que el círculo es la figura que encierra la mayor superficie para un determinado perímetro (Avery y Burkhart, 1994; Husch et al., 1982; Loetsch et al., 1973).

Desde el momento que la sección transversal a la altura del pecho de un árbol rara vez tiene forma circular o forma elíptica, siempre habrá una componente de error en la determinación del DAP al usarse las fórmulas de cálculo del círculo o de la elipse. Sin embargo, si la forcípula o la cinta diamétrica se usaran en forma apropiada, ambos instrumentos deberían proveer resultados comparables. Desde el momento que los posibles sesgos se originan al utilizar como modelo matemático el círculo, que no representa con exactitud la verdadera forma de la sección transversal del árbol, la comparación de procedimientos al momento de seleccionar un mecanismo para determinar el DAP debería basarse en otros aspectos de dichos métodos (Clark et al., 2000). El objetivo del presente trabajo fue analizar la exactitud relativa de la cinta diamétrica y la forcípula en la determinación del DAP; y de los valores asociados de área basal y de volumen, a nivel de árbol y por unidad de superficie.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se trabajó en un rodal de bosque nativo situado en el Cuartel Forestal “Río Turbio”, ubicado a 30 km al Este de la ciudad de Tolhuin (Provincia de Tierra del Fuego - Argentina) en los 54° 58' LS y 67° 13' de LW. El rodal pertenece a un bosque puro de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser), mayormente coetáneo ubicado sobre terreno plano, cubriendo una superficie de 12 ha. Dentro del mismo, se seleccionaron 4 ha homogéneas que fueron divididas en 160 parcelas rectangulares de 250 m<sup>2</sup> cada una (25 m x 10 m), distribuidas en 4 filas contiguas. Los límites de las parcelas fueron identificados mediante estacas.

Los instrumentos de medición utilizados fueron una forcípula de metal con regla de 80 cm y una cinta diamétrica de teflón; en ambos casos la precisión de la escala fue de 1 mm. Con la forcípula se midieron tres ejes en cada sección transversal; el primero se midió con la regla orientada hacia el centro de la parcela, el segundo perpendicular al anterior, y el tercero en una de las diagonales correspondientes a los dos ejes medidos en forma cruzada. Con cinta diamétrica se realizó una medición por árbol. Se definieron 5 valores de DAP, los que se identifican y definen a continuación:

D1: correspondiente al primer eje medido con forcípula;

D2A: correspondiente a la media aritmética de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula;

D2G: correspondiente a la media geométrica de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula;

D3: correspondiente al promedio aritmético de los 3 ejes medidos con forcípula; y

DC: correspondiente a la lectura realizada con la cinta diamétrica.

El promedio D2A se seleccionó como diámetro de referencia y testigo, porque es el más utilizado en la región. Se consideró como árbol muestra a todo árbol situado dentro de cada parcela cuyo diámetro D2A fuese igual o mayor a los 10 cm. Los árboles mayores a 80 cm de D2A no se tomaron en cuenta en los cálculos. Como medida de la excentricidad de la sección a la altura del pecho de cada árbol se utilizó la razón entre los ejes mayor y menor correspondientes a los dos ejes medidos en forma cruzada; esta razón se identificó con las siglas RD (razón entre el diámetro mayor y el diámetro menor).

A partir de cada valor de DAP y para cada árbol se determinó su área basal y dos volúmenes totales con corteza a partir de ecuaciones de volumen. El primer volumen, identificado como V1, se estimó con una ecuación que utiliza el DAP y la calidad de sitio como variables predictoras (Peri et al., 1997), que toma la siguiente forma:

$$V1 = 0,0003643024 \cdot K^{1,050369} \cdot DAP^{2,1100384} \cdot K^{-0,0753}$$

donde  $K = [6 - \text{Clase de sitio}]$ . Las clases de sitio se representaron mediante números de 1 a 5 de acuerdo a la clasificación propuesta por Martínez Pastur et al. (1997) y fueron establecidas para cada parcela. El segundo volumen, identificado como V2, se estimó con una ecuación de una entrada ajustada para el rodal bajo estudio (Vukasovic et al., 1997), más simple que la anterior pero que no captura las diferencias por cambios en el micrositio; la forma de la ecuación es :

$$V2 = 0,0001309 DAP^{2,47533}$$

Para evaluar el comportamiento de los métodos de determinación del DAP a nivel de árbol se definieron cuatro variables, que fueron DAP, área basal, volumen V1 y volumen V2 asociados con cada uno de los cinco DAP definidos. Los valores correspondientes a cada variable se consideraron tratamientos y se identificaron con la letra T (Tabla 1).

**Tabla 1.** Identificación de los tratamientos y las variables asociadas por árbol o por hectárea.

VARIABLES	TRATAMIENTOS				
	D1	D2A	D2G	D3	DC
DAP	T1	T2A	T2G	T3	TC
Área Basal	T1	T2A	T2G	T3	TC
Volumen V1	T1	T2A	T2G	T3	TC
Volumen V2	T1	T2A	T2G	T3	TC

*Los tratamientos para la variable DAP son sólo a nivel de árbol. D1: primer eje medido con forcípula; D2A: media aritmética de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula; D2G: media geométrica de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula; D3: media aritmética de los 3 ejes medidos con forcípula; y DC: lectura realizada con la cinta diamétrica.*

El área basal y los volúmenes determinados para los árboles incluidos en cada parcela se sumaron y se convirtieron en valores de área basal y de volumen por hectárea. Los valores por hectárea se tomaron como variables para evaluar el comportamiento de los tratamientos a nivel de superficie. En todos los casos se utilizó como tratamiento testigo al proveniente del diámetro D2A.

Los tratamientos se compararon a través de un análisis de varianza (ANOVA), asumiendo un diseño en bloques completos al azar (Binot et al., 1995), donde cada árbol y cada parcela se consideraron un bloque. En ambos casos se establecieron contrastes ortogonales a través de la descomposición de la suma de cuadrados de los tratamientos del ANOVA. La primera descomposición de suma de cuadrados fue en dos componentes: a) cinta diamétrica versus resto, y b) entre el resto. Este resto, que comprende a los diámetros obtenidos sólo mediante forcípula, se descompuso a su vez en dos componentes: a) media geométrica de los dos diámetros cruzados versus resto, y b) entre el resto.

### 3. RESULTADOS

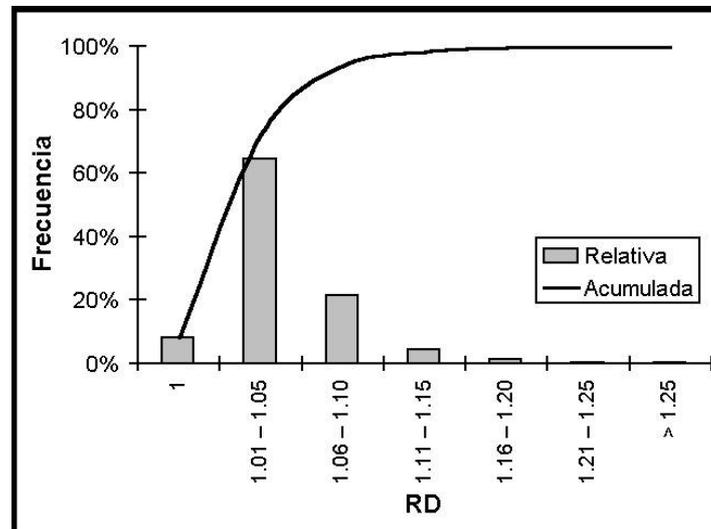
#### Árboles muestra y diámetros D2A

Se observaron 2445 árboles en el área bajo estudio, con un D2A mínimo de 9,4 cm. De este total, 17 árboles (0,7%) presentaron un D2A por debajo de 10 cm y no fueron tomados en cuenta; y 33 árboles (1,3%) presentaron uno de los ejes con longitud mayor a 80 cm, siendo descartados por superar el valor máximo correspondiente a la regla de la forcípula. La muestra final quedó conformada por 2395 árboles, con un D2A mínimo y máximo de 10,0 cm y 79,6 cm, respectivamente.

El 66% de los árboles mostró un D2A entre 10,0 y 30,0 cm, el 22% entre 30,1 y 50,0 cm, el 11% mostró entre 50,1 y 70,0 cm; y sólo el 1% mostró un D2A superior a los 70,0 cm. El 34,4% de los árboles (824) presentó un D2A de por lo menos 30 cm, que es el DAP mínimo de corta comercial.

La razón  $RD$  presentó un promedio de 1,04 con un error estándar de 0,0009 y un valor máximo de 1,48. El 8,1% de los árboles mostró un  $RD$  igual a 1 y el 95% mostró un  $RD$  entre 1,00 y 1,10 (Figura 1).

**Figura 1.** Distribución relativa y relativa acumulada de la razón de diámetros ( $RD$ ) como indicador de la excentricidad de la sección normal.

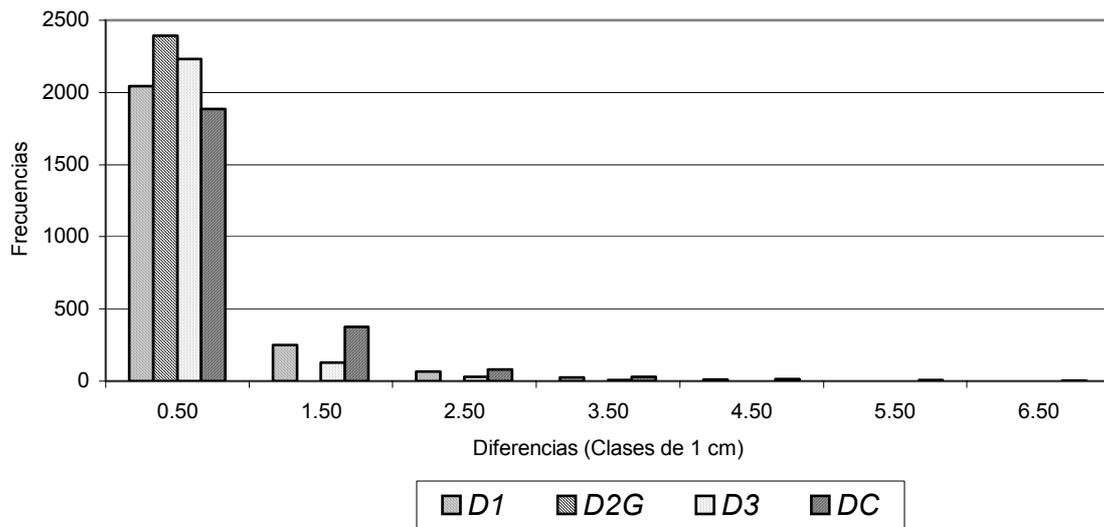


Comparados con el diámetro  $D2A$ , los  $DAP$  restantes mostraron una diferencia máxima de 0,5 cm, con un valor mínimo de 28,2 cm y un máximo de 28,7 cm que correspondió al diámetro  $DC$ . La desviación estándar correspondiente mostró un valor mínimo y un máximo de 16,1 cm y 16,3 cm respectivamente.

El diámetro  $DI$  fue igual al testigo ( $D2A$ ) en el 8,2% de los árboles; el diámetro  $D2G$  fue igual al testigo en el 46,9% de los árboles; los diámetros  $D3$  y  $DC$  fueron iguales al testigo en el 5,6% y 12,1% de los árboles, respectivamente.

A nivel de diferencias absolutas entre los tratamientos y el testigo, el diámetro  $DI$  mostró diferencias absolutas no mayores a 0,50 cm en el 65,7% de los árboles; el diámetro  $D2G$  mostró esa diferencia en el 99,9% de los árboles; y los diámetros  $D3$  y  $DC$  mostraron esa diferencia en el 79,6% y 52,8% de los árboles respectivamente. La Figura 2 presenta las diferencias absolutas entre tratamientos y testigo en clases de 1 cm de amplitud.

**Figura 2.** Frecuencias de las diferencias entre el diámetro  $D2A$  y los diámetros  $D1$ ,  $D2G$ ,  $D3$  y  $DC$  en clases de 1 cm de extensión; valores absolutos.

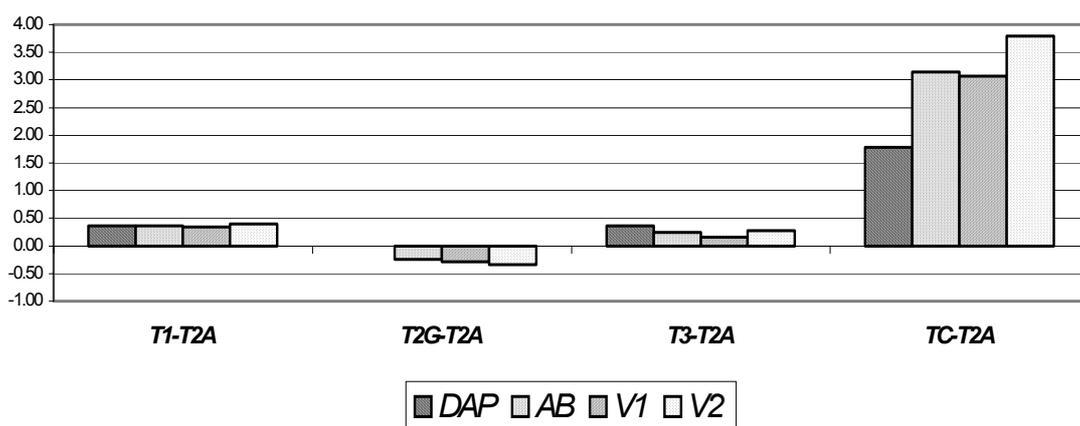


$D1$ : primer eje medido con forcípula;  $D2A$ : media aritmética de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula;  $D2G$ : media geométrica de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula;  $D3$ : media aritmética de los 3 ejes medidos con forcípula;  $DC$ : lectura realizada con la cinta diamétrica.

### Tratamientos

A nivel de árboles, las diferencias de los promedios entre los tratamientos y el testigo mostraron un comportamiento similar para las cuatro variables ensayadas, correspondiendo las mayores diferencias al tratamiento  $TC$ . Con respecto al  $DAP$ ,  $AB$ ,  $V1$  y  $V2$ , los tratamientos  $T1$ ,  $T2G$  y  $T3$  versus  $T2A$  presentaron una diferencia menor al 0.5%, mientras que  $TC$  versus  $T2A$ , la diferencia fue del 2% para el  $DAP$ , 3.2% para el  $AB$ , 3.1% para el  $V1$  y 3.8% para el  $V2$ . (Figura 3).

**Figura 3.** Diferencias en los promedios entre los tratamientos ( $T1$ ,  $T2G$ ,  $T3$  y  $TC$ ) y el tratamiento testigo ( $T2A$ ), para  $DAP$ , área basal ( $AB$ ) y  $V1$  y  $V2$ .



Tratamientos:  $T1$ : primer eje medido con forcípula;  $T2A$ : media aritmética de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula;  $T2G$ : media geométrica de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula;  $T3$ : media aritmética de los 3 ejes medidos con forcípula;  $TC$ : lectura realizada con la cinta diamétrica.  $V1$ : volumen total con corteza según Peri et al. (1997);  $V2$ : volumen total con corteza según Vukasovic et al. (1997).

Los ANOVA a nivel de árboles individuales contaron con 2395 bloques de cuatro tratamientos cada uno. El test de F dio diferencias estadísticas entre tratamientos en las cuatro variables seleccionadas. Se observaron diferencias estadísticas entre cinta y el resto (*TC* vs. *T1*, *T2A*, *T2G* y *T3*), y entre el resto en las cuatro variables. Dentro de los tratamientos con forcípula se observaron diferencia estadísticas entre el promedio geométrico y el resto (*T2G* vs. *T1*, *T2A* y *T3*), sin detectarse diferencias entre el resto (Tabla 2). Idénticos resultados se obtuvieron para árboles con *DAP* de 30 cm o más.

**Tabla 2.** Valores de *F* para ANOVA y contrastes aplicados a los cuatro tratamientos ensayados sobre árboles individuales.

	<i>DAP</i>	<i>AB</i>	<i>VI</i>	<i>V2</i>
Entre tratamientos	284,3 **	131,3 **	94,8 **	134,4 **
Cinta vs. resto	1108,2 **	511,1 **	368,8 **	522,7 **
Entre el resto 1	9,8 **	4,9 **	3,5 *	5,1 **
Media geométrica vs. resto	23,5 **	10,7 **	7,8 **	11,3 **
Entre el resto 2	2,9 ns	1,8 ns	1,4 ns	2,0 ns
Bloques	3335,8 **	1910,3 **	145,1 **	1974,6 **

Tratamientos: *T1*: primer eje medido con forcípula; *T2A*: media aritmética de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula; *T2G*: media geométrica de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula; *T3*: media aritmética de los 3 ejes medidos con forcípula; *TC*: lectura realizada con la cinta diamétrica. *VI*: volumen total con corteza según Peri et al. (1997); *V2*: volumen total con corteza según Vukasovic et al. (1997). Entre tratamientos = *T1* vs. *T2A* vs. *T2G* vs. *T3* vs. *TC*; Cinta vs. resto = *TC* vs. *T1*, *T2A*, *T2G* y *T3*; entre el resto 1 = *T1* vs. *T2A* vs. *T2G* vs. *T3*. Media geométrica vs. resto = *T2G* vs. *T1*, *T2A*, *T3* y *TC*; entre el resto 2 = *T1* vs. *T2A* vs. *T3* vs. *TC*. \*\* = dif. altamente significativa ( $\alpha = 0,01$ ); \* = dif. significativa ( $\alpha = 0,05$ ); ns = dif. no significativa

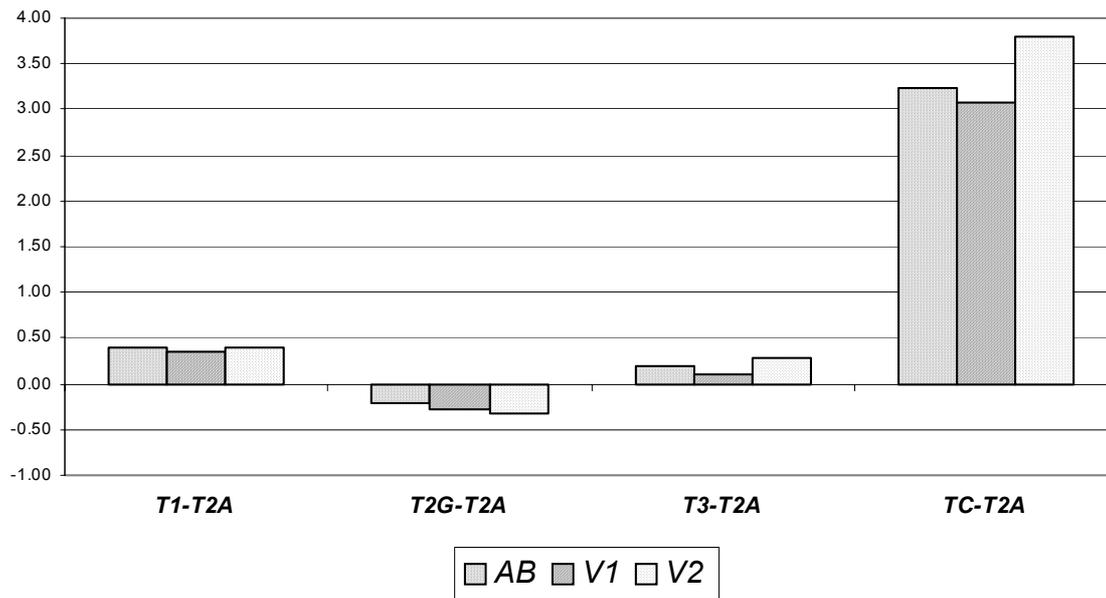
El área basal promedio por hectárea tuvo un valor mínimo de 49,1 m<sup>2</sup>/ha y un máximo de 50,8 m<sup>2</sup>/ha; el promedio del volumen *VI* por hectárea mostró un mínimo y un máximo de 495,1 m<sup>3</sup>/ha y 515,5 m<sup>3</sup>/ha; para el volumen *V2* esos valores fueron 549,6 m<sup>3</sup>/ha y 568,1 m<sup>3</sup>/ha respectivamente (Tabla 3). A nivel de parcelas, las diferencias de los promedios entre los tratamientos y el testigo mostraron similar comportamiento en las tres variables, correspondiendo las mayores diferencias al tratamiento *TC*. Comparando los promedios entre tratamientos para el *DAP*, *AB*, *VI* y *V2*, se observa que en los tratamientos *T1*, *T2G* y *T3* versus *T2A* la diferencia fue menor al 0.5%, mientras que *TC* versus *T2A*, la diferencia fue del 1.8%, 3.0%, 3.1% y 3.8% para el *DAP*, *AB*, *VI* y *V2* respectivamente (Figura 4).

**Tabla 3.** Valores medios por parcela y desviación estándar en área basal (m<sup>2</sup>/ha) y volúmenes totales (m<sup>3</sup>/ha), correspondientes a los distintos tratamientos.

		<i>D1</i>	<i>D2A</i>	<i>D2G</i>	<i>D3</i>	<i>DC</i>
<i>AB</i> (m <sup>2</sup> /ha)	Media	49,6	49,4	49,3	49,5	51,0
	D. Est.	14,8	14,6	14,6	14,6	15,1
<i>VI</i> (m <sup>3</sup> /ha)	Media	555,3	553,4	551,8	554,3	570,4
	D. Est.	181,0	178,0	177,6	178,0	183,7
<i>V2</i> (m <sup>3</sup> /ha)	Media	500,8	498,8	497,2	500,2	517,7
	D. Est.	167,3	164,4	164,1	165,2	171,2

*AB*: área basal; *VI*: volumen total con corteza según Peri et al. (1997); *V2*: volumen total con corteza según Vukasovic et al. (1997).

**Figura 4.** Diferencias en los promedios entre los tratamientos (*T1*, *T2G*, *T3* y *TC*) y el tratamiento testigo (*T2A*), para área basal (*AB*) y los volúmenes 1 y 2.



Tratamientos: *T1*: primer eje medido con forcípula; *T2A*: media aritmética de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula; *T2G*: media geométrica de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula; *T3*: media aritmética de los 3 ejes medidos con forcípula; *TC*: lectura realizada con la cinta diamétrica. *V1*: volumen total con corteza según Peri *et al.* (1997); *V2*: volumen total con corteza según Vukasovic *et al.* (1997).

Cada ANOVA a nivel de unidad de superficie contó con 160 bloques y 5 tratamientos. El test de F dio diferencias estadísticas entre tratamientos en las tres variables seleccionadas. Se observaron diferencias estadísticas entre cinta y el resto, y entre el resto en las cuatro variables. Dentro de los tratamientos con forcípula se observaron diferencias estadísticas entre el promedio geométrico y el resto, sin detectarse diferencias significativas entre el resto (Tabla 4).

**Tabla 4.** Valores de *F* para ANOVA y contrastes aplicados a los tratamientos ensayados a nivel de parcela.

	<i>AB</i>	<i>V1</i>	<i>V2</i>
Entre tratamientos	119,5 **	88,1 **	120,0 **
Cinta vs. resto	464,8 **	342,6 **	466,5 **
Entre el resto 1	4,4 **	3,3 *	4,5 **
Media geométrica vs. resto	9,9 **	7,3 **	10,1 **
Entre el resto 2	1,6 ns	1,3 ns	1,7 ns
Bloques	1693,2 **	1081,6 **	2107,0 **

Tratamientos: *T1*: primer eje medido con forcípula; *T2A*: media aritmética de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula; *T2G*: media geométrica de los 2 ejes cruzados medidos con forcípula; *T3*: media aritmética de los 3 ejes medidos con forcípula; *TC*: lectura realizada con la cinta diamétrica; *V1*: volumen total con corteza según Peri *et al.* (1997); *V2*: volumen total con corteza según Vukasovic *et al.* (1997). Entre tratamientos = *T1* vs. *T2A* vs. *T2G* vs. *T3* vs. *TC*; Cinta vs. resto = *TC* vs. *T1*, *T2A*, *T2G* y *T3*; entre el resto 1 = *T1* vs. *T2A* vs. *T2G* vs. *T3*. Media geométrica vs. resto = *T2G* vs. *T1*, *T2A*, *T3* y *TC*; entre el resto 2 = *T1* vs. *T2A* vs. *T3* vs. *TC*. \*\* = dif. altamente significativa ( $\alpha = 0,01$ ); \* = dif. significativa ( $\alpha = 0,05$ ); ns = dif. no significativa

#### 4. DISCUSIÓN

La presencia de un 8% de árboles con una razón RE igual a 1 indica que por lo menos el 92 por ciento de los árboles mostró cierto grado de excentricidad, lo que permite aceptar a la muestra como válida para el estudio. El eje mayor de las secciones fue en promedio un 4% superior al eje menor, con un máximo del 10%, indicando que el grado de excentricidad mostrado por los árboles puede considerarse entre bajo y moderado.

A nivel de árbol, los valores más elevados en todas las variables se observaron con el uso de la cinta diamétrica, con diferencias de +1,8% en la medición del DAP y de un +3,0% en el cálculo del área basal y de los volúmenes. Los valores más bajos se observaron cuando se usó la media geométrica de los dos ejes cruzados, con diferencias de - 0,2% en el área basal y - 0,3% en volumen respecto al testigo. La medición de sólo un eje por sección o el promedio aritmético de dos y tres ejes por sección no mostraron diferencias significativas. Esto implica que no se justifica el uso de promedios que provengan de más de un eje por sección cuando se utiliza la forcípula.

A nivel de rodal se observó el mismo comportamiento que a nivel de árboles individuales. En términos cuantitativos, sólo las medidas derivadas de la medición del DAP con cinta diamétrica presentaron valores significativos por encima del resto de los tratamientos con forcípula. Si en lugar de hacer dos mediciones con forcípula y usar su promedio aritmético como indicador del DAP se hubiese usado una sola medición con forcípula, la diferencia entre áreas basales y volúmenes no superaría el 0,5%, lo que no justifica el esfuerzo de medir varios diámetros por árbol.

#### 5. CONCLUSIONES

Para la especie y el lugar con los cuales se realizó el estudio, las principales conclusiones son las siguientes:

- a) el DAP medido con cinta diamétrica fue un 2 % mayor al obtenido con forcípula;
- b) el área basal y el volumen obtenido a partir de un DAP medido con cinta diamétrica fue entre un 3% y un 4% superior a los obtenidos con forcípula;
- c) no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con forcípula;
- d) los árboles mostraron una leve a moderada excentricidad.

El comportamiento de la cinta diamétrica debe tenerse en cuenta al momento de definir el tamaño de una muestra para un error de muestreo prefijado, ya que la sobreestimación que es de esperar ocurra por su uso incrementará el error de estimación. Es por ello que para la especie y zona de trabajo no se justifica realizar más de una medición con forcípula por árbol, reservando el uso de algún promedio sólo en situaciones de mayor excentricidad que la observada.

Los valores más bajos se alcanzaron usando la media geométrica de dos diámetros cruzados, aunque la diferencia con la media aritmética correspondiente resultó insignificante en términos de magnitud. Este resultado se explica porque la media geométrica de una serie de valores no iguales es siempre inferior a la media aritmética de los mismos valores.

Estas conclusiones pueden extenderse a cualquier otra situación donde los árboles de interés muestren un grado de excentricidad similar a los hallados en la muestra.

## 6. AGRADECIMIENTOS

A Ricardo Vukasovic y a Cecilia Fernández por su participación en la elaboración del proyecto original y en la toma de datos a campo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Avery, T. E. y H. E. Burkhart (1994) Forest measurements. Ed. 4. McGraw-Hill, New York. 408 pp.
- Binot, J. M.; D. Pothier; J. Lebel (1995) Comparison of relative accuracy and time requirement between the calliper, the diameter tape and an electronic tree measuring fork. *The Forestry Chronicle* 71(2): 197-200.
- Clark, N. A.; R. H. Wynne; D. L. Schmoltdt (2000) A Review of Past Research on Dendrometers. *Forest Science* 46(4): 570-576.
- Husch, B.; C. I. Miller; T. W. Beers (1982) Forest Mensuration. 3th Edition. John Wiley & Sons. N. York. 402 pp.
- Loetsch, F.; F. Zöher; K. E. Haller (1973) Forest Inventory. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 469 pp.
- Matern, B. (1984) Four lectures on forest biometry. Swedish University of Agricultural Sciences. Section of Forest Biometry. Sweden. Report 23. 139 pp.
- Martínez Pastur, G.; P. Peri; R. Vukasovic; S. Vaccaro; V. Piriz Carrillo (1997) Site index equation for *Nothofagus pumilio* Patagonian forest. *Phyton* 6(1/2): 55-60.
- Peri, P.; G. Martínez Pastur; B. Díaz; F. Fucaraccio (1997) Uso del índice de sitio para la construcción de ecuaciones estándar de volumen total de fuste para lenga (*Nothofagus pumilio*) en Patagonia Austral. Actas II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Tomo Bosques Nativos y Protección Ambiental. pp 309-316. Posadas (Argentina), 13-15 Agosto.
- Vukasovic, R.; C. Fernandez; G. Martínez Pastur (1997) Ecuaciones locales de volumen para lenga en el sector del río Turbio, Provincia de Tierra del Fuego. Actas del Primer Seminario de Biometría y Producción de la lenga. UNPA - UNLP - INTA. PRODESAR INTA/GTZ. Publicación Técnica Forestal N° 10 INTA. pp 7-13. La Plata (Argentina), 26-28 Noviembre.

