

FUNCIONES DE ALTURA TOTAL Y AREA DE COPA PARA LENGA *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) EN LAGO GENERAL VINTTER - CERRO COLORADO, PROVINCIA DE CHUBUT - ARGENTINA. ALCANCES POR CLASES DE EXPOSICION Y ALTITUD
C. Fernández y G. Martínez Pastur, CADIC - Programa de Recursos Vegetales. cc 92 (9410) Ushuaia, Prov. de Tierra del Fuego Argentina; F. Boyeras; P. Peri, Ingeniero Forestal, UNLP, Argentina.

RESUMEN

Para lenga se ajustaron funciones de Altura Total y Area de Copa. Los datos provienen del Lago General Vintter y utilizan sólo al DAP como variable predictor. Los ajustes se hicieron mediante técnicas de regresión lineal simple y múltiple y fueron analizados estadística y gráficamente, dando resultados satisfactorios. Un modelo fue seleccionado para cada combinación de exposición y altitud, entre los que presentaron mejor aptitud y estadísticos. Entre los que respondieron de manera más satisfactoria se encuentran :

$$HT = a \cdot DAP^{0.5}$$

$$AC = a \cdot DAP$$

$$HT = \text{Altura Total (m)}$$

$$AC = \text{Area de Copa (m}^2\text{)}$$

$$DAP = \text{Diámetro a la Altura del Pecho (cm).}$$

Posteriormente se diferenciaron estadísticamente los modelos seleccionados para las diferentes combinaciones de exposición y altitud. Se determinaron las pautas para la planificación en la toma de datos para la construcción de ecuaciones de Altura Total y Area de Copa.

Palabras clave: *Lenga (*Nothofagus pumilio*), Funciones Altura, Funciones Area de copa*

INTRODUCCION

El presente estudio integra una serie de trabajos realizados en la orilla sur del Lago General Vintter y al pie del Cerro Colorado, en la Provincia del Chubut, Argentina.

La lenga **Nothofagus pumilio (Poepp. et Endl.) Krasser** es una especie de gran interes desde el punto de vista ecológico. El amplio rango latitudinal y altitudinal y la rigurosidad de las condiciones climáticas en que se desarrolla le confieren características de excepción en lo que respecta a su mecanismo biológico (Carabelli, 1991).

El área en estudio se encuentra entre los 43°57' y los 44°04' L. S. y los 71°33' hasta los 71°43' L. W., cubriendo una superficie de 5.800 ha de bosques, que corresponden al Tipo Forestal Lenga, Subtipo Forestal Bosque Puro de Lenga (Uriarte y Grosse, 1991).

La lenga crece desde las márgenes del Lago General Vintter (935 msnm) y la estepa hasta los valles y las laderas del Cerro Colorado. En los mejores sitios alcanza los 30 metros de altura total y 130 cm de DAP, estos corresponden a lugares húmedos de exposición Sur y baja altitud. Se observa un gradiente altitudinal en lo que respecta a las alturas dominantes. A los 1.300 msnm se presentan las lengas en "1" de menor altura y a los 1.400 msnm se presenta en forma achaparrada (Moore, 1983) debido a los factores ambientales adversos. Las laderas de exposición Norte presentan un ambiente más seco con un sotobosque totalmente diferente y un bosque más abierto y enfermo.

Para la determinación de las Alturas Totales y las Areas de Copa, mediante las ecuaciones correspondientes, se utiliza el diámetro (DAP), ya que es una variable correlacionada con los parámetros a calcular (Clutter et al, 1983). Las muestras que se incluyen en una misma regresión deben tomarse teniendo en cuenta las condiciones del sitio (Clutter et al, 1983). Para esto, en el muestreo se consideraron como posibles variables de la calidad de sitio la exposición y la altitud (Puente et al., 1985; Donoso, 1985). Se desconoce si se obtienen diferencias significativas, al realizar el muestreo para la construcción de

ecuaciones, sin tener en cuenta la exposición y la altitud.

Los únicos antecedentes que se encontraron en la bibliografía para la zona considerada, son estudios dasométricos e instalación de parcelas permanentes para el manejo del bosque de lenga (Orfila, 1987; Mutarelli y Orfila, 1971). No existiendo ecuaciones de Altura Total y Area de Copa.

OBJETIVOS

- Elaborar un conjunto de ecuaciones de Altura Total para lenga, que permita estimar este parametro en ejemplares que se encuentren en distintas exposiciones y altitudes.
- Elaborar un conjunto de ecuaciones de Area de Copa para Lenga que permita estimar este parametro en ejemplares que se encuentren en distintas exposiciones y altitudes.
- Determinar si existen diferencias estadísticas significativas entre los modelos de las distintas combinaciones de exposición y altitud, de manera de descubrir los alcances de las mismas y acotar su rango de utilización.
- Dar pautas para la planificación en la toma de datos para la elaboración de ecuaciones de Altura Total y Area de Copa para lenga en la zona bajo estudio.

MATERIALES Y METODOS

Estimación de la Altura Total y Area de Copa

La toma de datos se realizó obteniendo muestras homogéneamente distribuidas en la superficie bajo estudio. La selección se hizo tratando de cubrir la variación diamétrica para cada combinación de exposición y altitud.



A los árboles muestreados se les midió diámetro en cruz con forcípula a 130 cm de altura, altura total con clinómetro y diámetro de copa en dos sentidos, con cinta métrica.

Modelos Ajustados

Se ensayaron funciones donde el DAP es la variable predictora. Los ajustes se realizaron en base a técnicas de regresión lineal y múltiple.

Evaluación Estadística

Para evaluar y comparar el ajuste de los modelos ensayados y realizar su posterior selección, se consideraron los siguientes estimadores estadísticos: prueba de F, coeficiente de determinación " r^2 ", error estándar de la estimación "ese", coeficiente de variación de los residuos "syx%", prueba de t, análisis de los residuales "anare", ponderación "weight", Índice de Durbin-Watson, Índice de Spearman y el Índice de Furnival. De suma importancia se consideró también la simplicidad de los modelos (Little y Hills, 1985; Bonnier y Tedín, 1982; Chauchard, 1991; Yamane, 1979; Cantatore de Frank, 1983; Field et al, 1991; ALder, 1980; Neter y Wasserman, 1973; Sokal y Rohlf, 1984; Clutter et al, 1983; Cailleze, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSION

Muestra

El total es de 332 individuos muestreados y los DAP mínimo y máximo obtenidos son, respectivamente, 10 cm y 130 cm (Cuadro 1).

Cuadro N° 1

DISTRIBUCION DE LOS ARBOLES MUESTRA POR CLASE DIAMETRICA,
ALTITUD Y EXPOSICION

Exp	Alt (msnm)	DAP (cm)							Total
		<20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
Este	1.000	2	5	8	9	3	2	4	33
	1.100	2	2	5	6	9	2	2	28
	1.200	4	2	9	8	2	5	2	32
	1.300	2	4	8	2	0	0	0	16
Sur	1.000	2	4	6	5	5	3	7	32
	1.100	8	4	5	5	7	1	3	33
	1.200	0	3	10	4	8	1	0	26
	1.300	0	6	7	3	1	0	0	17
Norte	1.000	5	3	5	6	8	2	2	31
	1.100	3	10	9	8	3	2	1	36
	1.200	4	12	11	2	1	1	0	31
	1.300	0	7	8	2	0	0	0	17
Total		32	62	91	60	47	19	21	332

Modelos

Se ajustaron 14 modelos de ecuaciones para Altura Total y 13 modelos para estimación de Area de Copa. Entre los ensayados se encuentran los clásicos citados por la bibliografía y otros no tradicionales (Alder, 1980; Cailliez, 1980; Clutter et al, 1983; Little y Hills, 1985; Neter y Wasserman, 1973; Sokal y Rohlf, 1984; Gaillard de Benítez et al, 1988) (Cuadro 2)



Cuadro N° 2

MODELOS DE ECUACIONES PARA ALTURA TOTAL Y AREA DE COPA

N°	Altura Total	Area de Copa
1	$HT=a+b \cdot D$	$AC=a+b \cdot D$
2	$HT=a+b \cdot D^2$	$AC=a+b \cdot D+c \cdot D^2$
3	$HT=a+b \cdot D+c \cdot D^2$	$AC=a \cdot D$
4	$HT=a+b \cdot D^2+c \cdot D^3$	$AC=a \cdot D+b \cdot D^2$
5	$HT=a+b \cdot D+c \cdot D^2+d \cdot D^3$	$AC=a \cdot D+b \cdot D^{0.5}$
6	$HT=a \cdot D+b \cdot D^2$	$AC=a+b \cdot d^2+c \cdot D^3$
7	$HT=a \cdot D+b \cdot D^2+c \cdot D^3$	$AC=a+b \cdot D^2$
8	$HT=a \cdot D^{0.5}$	$AC=a+b \cdot D+c \cdot D^2+d \cdot d^3$
9	$HT=a \cdot D+b \cdot D^{0.5}$	$\ln AC=a \cdot \ln(D)+b \cdot D$
10	$HT=a \cdot D^{0.5}+b \cdot 1/D$	$\ln AC=a \cdot \ln(D)+b \cdot D^2$
11	$\ln HT=a \cdot \ln(D)$	$\ln AC=a \cdot \ln(D)$
12	$\ln HT=a+b \cdot \ln(D)$	$\ln AC=a \cdot \ln(D+D^2)$
13	$\ln HT=a \cdot \ln(D)+b \cdot \ln(D+D^2)$	$\ln AC=a+b \cdot \ln(D)$
14	$\ln HT=a \cdot \ln(D+D^2)$	$\ln AC=a+b \cdot \ln(D)$

HT = Altura Total (m), AC = Area de Copa (m²); D = DAP (cm)

Una gran parte de los modelos, presentaron resultados satisfactorios. Aquellos que presentaron los mejores estadísticos y buena aptitud a través del ANARE, para cada combinación de exposición y altitud, son detallados en los Cuadros N°s 3 a 8.

Cuadro N° 3

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION ESTE

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	a	t b	# c	Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
1.000	8	0,965	3,84	734,0	**			19,43	2,03 *	3,84	-
		0,955	0,11	683,6	**			0,55	2,00 *	0,09	1/D ²
	13	0,995	1,62	3.218,0	**	**		7,11	1,90 *	1,77	-
1.100	8	0,994	1,02	2.697,0	**	**		0,34	1,84 *	0,88	1/D ²
		0,963	3,64	711,2	**			19,97	1,49 *	3,64	-
	13	0,967	0,08	791,9	**			0,44	1,75 *	0,06	1/D ²
1.200	6	0,995	1,58	2.904,0	**	**		6,96	1,63 *	1,74	-
		0,995	1,02	3.050,0	**	**		0,35	1,93 *	0,86	1/D ²
	8	0,963	3,18	414,4	**	**		19,96	1,52 *	3,18	-
1.300	8	0,962	0,09	398,0	**	**		0,55	1,99 *	0,07	1/D ²
		0,963	3,18	822,9	**			19,98	1,62 *	3,18	-
	8	0,952	0,09	615,7	**			0,62	1,62 *	0,07	1/D ²
	11	0,956	2,44	330,4	**			21,99	1,63 *	2,44	-
		0,956	0,44	323,8	**			4,00	1,70 *	0,29	1/D ²
		0,990	1,74	2.620,0	**			10,09	1,36 i	2,02	-
			0,992	1,02	2.026,1	**			0,42	1,63 *	0,77

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u , i valor intermedio entre d_u y D^L , vi valor inferior al d^L



Cuadro N° 4

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION SUR

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	t			Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
					a	b	c				
1.000	6	0,960	4,51	373,1	**	**		20,95	1,87 *	4,51	-
		0,938	0,13	235,5	**	**		0,58	1,66 *	0,10	1/D ²
1.100	8	0,956	4,74	671,8	**	**		22,03	1,69 *	4,74	-
		0,936	0,13	455,3	**	**		0,58	1,39 i	0,11	1/D ²
	8	0,967	3,01	948,5	**	**		19,28	2,69 *	3,01	-
		0,967	0,09	941,5	**	**		0,58	2,25 *	0,07	1/D ²
1.200	13	0,994	1,62	2.711,2	**	**		7,81	2,40 *	1,77	-
		0,992	1,02	1.871,8	**	**		0,37	1,95 *	0,88	1/D ²
	10	0,982	2,21	713,4	**	*		13,53	1,89 *	2,21	-
		0,985	0,05	814,2	**	**		0,31	1,95 *	0,04	1/D ²
1.300	13	0,998	1,38	5.150,1	**	**		5,03	1,95 *	1,54	-
		0,998	1,02	5.928,6	**	**		0,36	1,97 *	0,85	1/D ²
	8	0,972	1,62	550,7	**	**		17,50	2,06 *	1,62	-
		0,972	0,05	545,5	**	**		0,56	1,82 *	0,03	1/D ²
11	0,993	1,55	2.208,2	**	**		8,58	1,66 *	1,77	-	
	0,992	1,02	2.010,1	**	**		0,45	1,43 *	0,77	1/D ²	

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u , i valor intermedio entre d_u y D_L , vi valor inferior al d_L

Cuadro N° 5

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION NORTE

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	t			Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond	
					a	b	# c					
1.000	6	0,940	4,38	235,4	**	**		26,51	1,52	*	4,38	-
		0,952	0,10	299,9	**	**		0,62	1,65	*	0,08	1/D ²
	14	0,990	1,86	3.265,2	**			9,89	1,43	i	2,04	-
0,992		1,17	3.959,0	**			2,56	1,87	*	1,01	1/D ²	
1.100	8	0,946	2,89	617,8	**			24,66	1,33	vi	2,89	-
		0,933	0,10	487,4	**			0,84	1,23	vi	0,08	1/D ²
	13	0,988	1,86	1.478,0	*	*		11,22	1,28	vi	1,99	-
0,988		1,02	1.545,0	**	**		0,42	1,36	i	0,89	1/D ²	
1.200	10	0,982	1,33	840,9	**	**		13,61	2,09	*	1,33	-
		0,984	0,05	914,4	**	**		0,49	2,03	*	0,04	1/D ²
	13	0,996	1,38	3.827,5	**	**		6,18	2,06	*	1,49	-
0,996		1,02	4.193,6	**	**		0,44	1,99	*	0,88	1/D ²	
1.300	8	0,974	1,85	592,6	**			16,99	1,76	*	1,85	-
		0,969	0,07	492,9	**			0,60	1,85	*	0,05	1/D ²
	11	0,994	1,51	2.859,0	**			7,59	1,61	*	1,74	-
0,993		1,02	2.361,3	**			0,42	1,67	*	0,78	1/D ²	

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u , i valor intermedio entre d_u y D^L , vi valor inferior al d^L



Cuadro N° 6

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA ÁREA DE COPA PARA LA EXPOSICION ESTE

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	a	t b	# c	Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
1.000	4	0,935	17,9	232,3	**	**		33,12	1,81 *	17,9	-
		0,880	0,4	121,8	**	**		0,74	1,71 *	0,3	1/D ²
	11	0,984	3,2	1.986,6	**			13,45	1,41 i	3,6	-
1.100	3	0,980	1,3	1.681,0	**			2,69	1,61 *	1,2	1/D ²
		11	0,915	13,8	291,1	**			32,84	1,78 *	13,8
	11	0,901	0,3	250,5	**			0,73	2,08 *	0,2	1/D ²
1.200	11	0,994	2,0	4.905,6	*			8,24	2,09 *	2,3	-
		11	0,992	1,3	3.789,0	**			2,75	2,23 *	1,1
	12	0,984	2,5	1.985,6	**			11,71	2,18 *	2,8	-
	11	0,976	1,3	1.280,1	**			2,93	2,56 i	1,2	1/D ²
1.300	3	0,985	2,5	1.983,6	**			11,71	2,17 *	2,8	-
		11	0,977	1,3	1.300,9	**			2,93	2,59 i	1,2
	11	0,811	11,9	64,3	**			52,25	1,80 *	11,9	-
	11	0,828	0,3	72,4	**			1,47	1,69 *	0,2	1/D ²
		0,962	4,0	389,8	**			20,43	2,06 *	4,9	-
		0,970	1,3	499,0	**			3,40	1,92 *	1,0	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u , i valor intermedio entre d_u y D^L , vi valor inferior al d^L

Cuadro N° 7

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION SUR

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	a	t b	# c	Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
1.000	11	0,991	2,5	3.281,8	**			9,92	2,22 *	2,9	-
		0,991	1,3	3.467,6	**			2,48	2,14 *	1,2	1/D ²
	12	0,991	2,5	3.294,5	**			9,92	2,22 *	2,9	-
1.100	11	0,991	1,3	3.514,4	**			2,48	2,16 *	1,2	1/D ²
		0,947	4,0	1.139,3	**			18,78	1,27 ns	4,5	-
	12	0,843	1,3	161,7	**			3,13	1,56 *	1,1	1/D ²
1.200	11	0,974	4,0	1.141,2	*			18,78	1,23 ns	4,5	-
		0,851	1,3	171,6	**			3,13	1,52 *	1,1	1/D ²
	12	0,981	3,2	1.280,3	**			14,34	2,25 *	3,7	-
1.300	11	0,983	1,3	1.471,0	**			2,87	2,45 *	1,1	1/D ²
		0,981	3,2	1.275,0	**			14,34	2,22 *	3,7	-
	12	0,983	1,3	1.465,4	**			2,87	2,40 *	1,1	1/D ²
1.300	3	0,949	4,7	294,8	**			24,80	1,85 *	4,7	-
		0,943	0,1	264,9	**			0,75	1,98 *	0,1	1/D ²
	12	0,993	1,6	2.290,4	**			6,92	1,79 *	1,9	-
		0,993	1,3	2.292,9	**			3,46	1,91 *	1,0	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u , i valor intermedio entre d_u y D^L , vi valor inferior al d^L



Cuadro N° 8

VALORES DE LOS ESTADISTICOS OBTENIDOS PARA LOS MODELOS
SELECCIONADOS PARA ÁREA DE COPA PARA LA EXPOSICION NORTE

Alt (msnm)	Mod (N°)	R2	ESE (m)	F	t			Syx (%)	Dur-Wat @	Furn	Pond
					a	b	c				
1.000	3	0,907	13,7	295,9	**			35,45	2,07 *	13,7	-
		0,880	0,4	254,1	**			0,92	2,26 *	0,3	1/D ²
	11	0,989	2,5	2.733,6	**			11,53	2,11 *	2,8	-
1.100	3	0,982	1,3	1.652,2	**			2,88	2,69 i	1,1	1/D ²
		0,885	9,5	270,7	**			39,95	1,40 i	9,5	-
	12	0,850	0,3	199,2	**			1,26	1,28 ns	0,3	1/D ²
1.200	3	0,979	3,2	1.596,0	*			15,15	1,16 ns	3,5	-
		0,974	1,2	1.303,3	**			0,50	1,17 ns	1,1	1/D ²
	11	0,883	7,2	226,1	**			40,85	1,76 *	7,2	-
1.300	11	0,855	0,2	176,3	**			0,01	1,94 *	0,2	1/D ²
		0,943	4,6	495,5	**			25,39	1,62 *	5,0	-
	12	0,886	1,1	234,0	**			1,23	1,50 *	1,0	1/D ²
1.300	11	0,991	2,0	1.694,5	**			10,49	1,80 *	2,4	-
		0,991	1,3	1.667,4	**			3,49	1,77 *	1,0	1/D ²
	12	0,991	2,0	1.688,7	**			10,49	1,80 *	2,4	-
		0,991	1,3	1.658,6	**			3,49	1,77 *	1,0	1/D ²

Para un valor de significancia del 95%

** altamente significativo, * significativo, ns no significativo

@ Para un punto de significancia del 5%. * valor superior al D_u , i valor intermedio entre d_u y D^L , vi valor inferior al d^L

Los valores de F para los modelos presentados, con y sin ponderación, se mostraron altamente significativos al 95% de significancia.

Los valores de significancia de t fueron significativos y altamente significativos.

El coeficiente de variación de los residuos presentó desde valores muy pequeños hasta valores del 40%.

Algunos de los modelos ensayados presentaron autocorrelación de errores, ya que el Índice de Durbin-Watson obtenido en la regresión fue inferior al valor crítico teórico d^L . Otros se presentaron en la zona de indeterminación por lo que no se pudo comprobar la existencia de la autocorrelación de errores por este método. El resto no mostró evidencia de la autocorrelación de errores.

El Índice de Spermán para cada variable independiente para los modelos finales seleccionados (Figuras N°s 9 a 14) dió diferencias no significativas en gran parte de los casos al aplicarse la prueba de t con n-2 grados de libertad para un 95% de significancia. Por lo que fue rechazada la hipótesis que había heterocedasticidad en los casos mencionados.

Al observar los t obtenidos de los coeficientes de los modelos elegidos, se puede inferir que no hay multicolinealidad como lo sugiere la bibliografía (Cantatore de Frank, 1983).

El r^2 presentó buenos resultados entre los modelos finales seleccionados (Cuadros N°s 9 a 14), pero algunos autores citan que el mismo puede aparecer sobreestimado por la ponderación (Alder, 1980; Chauchard, 1991). Por otra parte, regresiones en las cuales la misma variable dependiente ha sido sometida a diferentes transformaciones, no pueden compararse directamente mediante el r^2 (Alder, 1980). Por lo que se recurrió al Índice de Furnival, que tiene en cuenta las transformaciones que sufrieron la variable dependiente, el tamaño de la muestra, las ponderaciones aplicadas y el error estándar de la estimación.

Modelos Finales Seleccionados

Los modelos que presentaron los mejores estadísticos (para cada combinación de exposición y altitud), buena aptitud a través del ANARE y simplicidad, fueron seleccionados. Se los muestra en los Cuadros N°s 9 a 14.

Se tuvo en cuenta como principal estadístico al Índice de Furnival, seleccionando aquel modelo con menor valor. Las excepciones son los modelos de Área de Copa para exposición Norte a los 1100 msnm, que presentan problemas de autocorrelación de errores.



Cuadro N° 9

**MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL
PARÁ LA EXPOSICION ESTE**

Altitudes (msnm)		
1000	HT = 3,05766 * D ^{0,5} lim inf = 2,82129 ta = 26,3558 **	Modelo 8 lim sup = 3,29403 Weigth = 1/D ²
1100	HT=2,793537 * D ^{0,5} lim in f= 2,58981 ta = 28,1419 **	Modelo 8 lim sup = 2,99726 Weigth = 1/D ²
1200	HT=2,480061 * D ^{0,5} lim inf = 2,27617 ta = 24,8134 **	Modelo 8 lim sup = 2,68395 Weigth = 1/D ²
1300	HT=2,007090 * D ^{0,5} lim inf = 1,76819 ta = 17,9115 **	Modelo 8 lim sup = 2,24599 Weigth = 1/D ²

HT = Altura Total (m)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 10

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION SUR

Altitudes (msnm)		
1000	$HT = 0,737368 \cdot D - 0,005125 \cdot D^2$ lim inf a = 0,63146 lim inf b = -0,00691 ta = 14,2229 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 6 lim sup a = 0,84327 lim sup b = -0,00334
1100	$HT = 2,601321 \cdot D^{0.5}$ lim inf = 2.42859 ta = 30,6837 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 8 lim sup = 2,77405 Weigth = $1/D^2$
1200	$HT = 1,955760 \cdot D^{0.5} + 140,053948/D$ lim inf a = 1,549339 lim inf b = 48,40650 ta = 9,9355 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 10 lim sup a = 2,36213 lim sup b = 231,7010 tb = 3,1548 **
1300	$HT = 1,658085 \cdot D^{0.5}$ lim inf = 1,50756 ta = 23,3568 **	Modelo 8 lim sup = 1,80861 Weigth = $1/D^2$

HT = Altura Total (m)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia



Cuadro N° 11

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA ALTURA TOTAL PARA LA EXPOSICION NORTE

Altitudes (msnm)		
1000	$HT = 0,669719 * D - 0,005471 * D^2$ lim inf a = 0,57426 lim inf b = -0,00760 ta = 14,3529 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 6 lim sup a = 0,76517 lim sup b = -0,00334 tb = -5,2602 **
1100	$HT = 2,019294 * D^{0.5}$ lim inf a = 1,83356 ta = 22,0766 **	Modelo 8 lim sup = 2,20503 Weigth = $1/D^2$
1200	$HT = 1,483331 * D^{0.5} + 45,877077/D$ lim inf a = 1,30558 lim inf b = 29,1944 ta = 17,0714 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 10 lim sup a = 1,66108 lim sup b = 62,5597 tb = 5,6257 **
1300	$HT = 1,948446 * D^{0.5}$ lim inf = 1,76236 ta = 22,2019 **	Modelo 8 lim sup = 2,13454 Weigth = $1/D^2$

HT = Altura Total (m)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 12

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION ESTE

Altitudes (msnm)		
1000	$AC = 0,655822 * D + 0,009062 * D^2$ lim inf a = 0,31409 lim inf b = -0,00239 ta = 3,9150 ** Weigth = $1/D^2$	Modelo 4 lim sup a = 0,99755 lim sup b = -0,01574 tb = 2,7689 **
1100	$AC = 0,916762 * D$ lim inf = 0,79729 ta = 15,7480 **	Modelo 3 lim sup = 1,03624 Weigth = $1/D^2$
1200	$Ln(AC) = 0,939323 * Ln(D)$ lim inf = 0,89632 ta = 44,5596 **	Modelo 11 lim sup = 0,98233
1300	$AC = 0,716785 * D$ lim inf = 0,53722 ta = 8,5105 **	Modelo 3 lim sup = 0,89635 Weigth = $1/D^2$

AC = Area de Copa (m^2)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE = m^2

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 13

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION SUR

Altitudes (msnm)		
1000	$\text{Ln}(\text{AC}) = 0,525555 \cdot \text{Ln}(D + D^2)$ lim inf = 0,50746 ta = 3,9150 **	Modelo 12 lim sup = 0,54365 Weigth = $1/D^2$
1100	$\text{Ln}(\text{AC}) = 0,444185 \cdot \text{Ln}(D + D^2)$ lim inf = 0,42187 ta = 21,0073 **	Modelo 12 lim sup = 0,46650 Weigth = $1/D^2$
1200	$\text{Ln}(\text{AC}) = 0,91467 \cdot \text{Ln}(D)$ lim inf = 0,86554 ta = 44,5596 **	Modelo 11 lim sup = 0,96380 Weigth = $1/D^2$
1300	$\text{AC} = 0,561629 \cdot D$ lim inf = 0,48846 ta = 16,2754 **	Modelo 3 lim sup = 0,63480 Weigth = $1/D^2$

AC = Area de Copa (m^2)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE = m^2

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

Cuadro N° 14

MODELOS FINALES SELECCIONADOS PARA AREA DE COPA PARA LA EXPOSICION NORTE

Altitudes (msnm)		
1000	AC = 0,0,943747 * D lim inf = 0,81380 ta = 14,8357 **	Modelo 3 lim sup = 1,07369 Weigth = 1/D ²
1100	AC = 0,641764 * D lim inf = 0,54943 ta = 14,1138 **	Modelo 3 lim sup = 0,73410 Weigth = 1/D ²
1200	AC = 0,553681 * D lim inf = 0,46850 ta = 13,2783 **	Modelo 3 lim sup = 0,63886 Weigth = 1/D ²
1300	Ln(AC) = 0,826522 * Ln(D) lim inf = 0,78360 ta = 40,8337 **	Modelo 11 lim sup = 0,86944 Weigth = 1/D ²

AC = Area de Copa (m²)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

ESE= m²

lim sup y lim inf = Intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados.

** altamente significativos al 95% de significancia

En los gráficos de dispersión de los residuales se observó que los valores no siguen ningún patrón sistemático aparente. En los gráfico de valores predecidos - valores observados, en algunos modelos, se notó cierta dispersión no deseable de los valores observados con respecto a los ajustados.

Ningún residual normalizado superó el rango de +/- tres desviaciones estándar, factor que permite inferir que todos los datos pertenecen a la misma población (Chauchard, 1991).



Alcances de los modelos

Considerando los intervalos de confianza al 95% de los coeficientes calculados para los modelos de cada combinación de exposición y altitud, se determinó si existían diferencias significativas.

Cuadro N° 15

DETERMINACION DE LOS ALCANCES PARA LOS MODELOS DE ALTURA
TOTAL PARA CADA COMBINACION DE EXPOSICION Y ALTITUD

	S10	S11	S12	S13	E10	E11	E12	E13	N10	N11	N12	N13
S10	-	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*
S11	ns	-	ns	*	*	ns	ns	*	ns	*	*	*
S12	ns	ns	-	ns								
S13	*	*	ns	-	*	*	*	ns	*	*	ns	ns
E10	ns	*	ns	*	-	ns	*	*	ns	*	*	*
E11	ns	ns	ns	*	ns	-	ns	*	ns	*	*	*
E12	ns	ns	ns	*	*	ns	-	*	ns	*	*	*
E13	ns	*	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
N10	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns
N11	*	*	ns	*	*	*	*	ns	ns	-	ns	ns
N12	*	*	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	-	ns
N13	*	*	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	-

* : Significativo al 95% de significancia

ns : No significativo

Dentro de una misma exposición se manifiesta un gradiente en la Altura Total que se evidencia a través de la significancia, tales como en las Este y Sur. En la exposición Sur los modelos a los 1100 y 1200 msnm son intermedios entre los modelos a los 1000 y 1300 msnm. En la exposición Este el modelo a los 1100 msnm es intermedio entre los modelos a los 1000 y 1200 msnm. También existen diferencias significativas entre los modelos a 1200 y 1300 msnm. En la exposición Norte no se detectaron diferencias significativas entre las distintas altitudes.

Dentro de una misma altitud para diferentes exposiciones se detectaron

diferencias significativas entre la exposición Sur con la Norte a los 1.100 msnm. No se detectaron diferencias significativas a los 1000 y 1300 msnm entre las distintas exposiciones.

Entre distintas exposiciones y altitudes se presentaron pocas diferencias significativas al comparar las combinaciones correspondientes a Este y Sur, salvo las del gradiente altitudinal antes mencionado. Pero se detectó una mayor cantidad de diferencias significativas entre dichas combinaciones y las correspondientes a las de la exposición Norte.

Cuadro N° 16

DETERMINACION DE LOS ALCANCES PARA LOS MODELOS DE AREA DE COPA
PARA CADA COMBINACION DE EXPOSICION Y ALTITUD

	S10	S11	S12	S13	E10	E11	E12	E13	N10	N11	N12	N13
S10	-	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*
S11	*	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*
S12	*	ns	-	ns	*	*						
S13	*	ns	ns	-	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
E10	ns	ns	ns	ns	-	ns						
E11	*	ns	ns	*	ns	-	ns	ns	ns	*	*	*
E12	*	ns	ns	*	ns	ns	-	ns	*	*	ns	*
E13	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns
N10	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	-	*	*	*
N11	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	-	ns	ns
N12	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	-	ns
N13	*	*	*	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	-

* : Significativo al 95% de significancia

ns : No significativo

Dentro de una misma exposición se manifiesta un gradiente en el tamaño del Area de Copa que se evidencia a través de la significancia, tales como en las Norte y Sur. En ambas exposiciones los modelos a los 1000 msnm presentan diferencias significativas con los modelos de mayores altitudes. En la exposición Este no se presentan diferencias significativas para las distintas altitudes.

Dentro de una misma altitud para diferentes exposiciones se detectaron diferencias significativas entre la exposición Sur con la Norte a los 1000 y 1200

msnm. La exposición Este con la Norte se diferencia a los 1100 msnm. No se detectaron diferencias significativas a los 1300 msnm entre las distintas exposiciones.

Entre distintas exposiciones y altitudes se presentaron varias diferencias significativas al comparar las combinaciones correspondientes a Norte, Este y Sur, incluyendo las correspondientes al gradiente altitudinal antes mencionado. Sin embargo, se detectó una mayor cantidad de diferencias significativas entre las correspondientes al Sur y al Norte.

CONCLUSIONES

Para el ajuste de ecuaciones de Altura Total, el modelo que mejor se adaptó es el potencial, de potencia $b=0.5$. Para el ajuste de ecuaciones de Área de Copa el modelo que mejor se adaptó es el lineal, con ordenada al origen igual a cero.

Con respecto a los estadísticos ensayados, los modelos presentaron distintos comportamientos en el ajuste. Un mejor ajuste y aptitud se observó en los modelos que fueron ponderados por la inversa del DAP elevado al cuadrado y, en consecuencia, el error estándar de la estimación disminuyó notablemente. Por otra parte, la presencia de coeficientes independientes en los modelos está asociada a los valores más bajos de los estadísticos y peor aptitud en el análisis del ANARE.

En cuanto a los modelos de Altura Total seleccionados, menos del 7% de la variación no es explicada por el DAP y sus transformaciones algebraicas. El coeficiente de variación de los residuos varió entre 0,3 y 4%. Para los modelos de Área de Copa, en tanto, menos del 18% de la variación no es explicada por el DAP y sus transformaciones algebraicas. El coeficiente de variación de los residuos osciló entre 0,01 y 3%.

Dentro de una misma exposición se manifiesta un gradiente en la Altura Total y Área de Copa, lo que daría la pauta para el ajuste y uso de ecuaciones individualizadas por rango de altitud. La exposición Norte no presentó diferencias significativas en las diferentes altitudes para Altura Total. La exposición Este no presentó diferencias significativas en las diferentes altitudes

para Area de Copa.

Dentro de una misma altitud se detectaron diferencias en los modelos de Altura Total y Area de Copa, lo que daría la pauta para el ajuste y uso de ecuaciones individualizadas por clases de exposición. La exposición Norte es la más disímil en relación a la Este y la Sur.

RECONOCIMIENTOS

Al Sr. Andres Nicolás Focke por su apoyo en la toma de datos de campo. Al Productor Forestal Sr. Nikita van Rennenkampf por el apoyo logístico y movilización en el lugar de la campaña.

REFERENCIAS

Alder, D., 1981. Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento con Referencia Especial a los Trópicos : Predicción del Rendimiento. Vol 22/2. FAO-Roma, Italia.

Bonnier, G. y Tedín, O., 1983. Bioestadística, Los Métodos Estadísticos para la Elaboración de Experimentos Biológicos. Ed Acribia. España.

Cailliez, F., 1981. Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento con Referencia Especial a los Trópicos : Estimación del Volumen. Vol 22/1. FAO-Roma, Italia.

Cantatore de Frank, N., 1983. Manual de Estadística Aplicada. Tomo II. Ed Hemisferio Sur. Argentina.

Carabelli, F. A., 1981. Estudio Bibliográfico sobre Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl) Krassser, con Énfasis en Aspectos de Dinámica y Manejo del Bosque. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de la Patagonia. Centro de Investigaciones Forestales. Argentina.

Clutter, J.; Fortson, J.; Pienaar, L.; Brister, G. y Bailey, R., 1983. Timber Management: a Quantitative Approach. Wiley & Sons. EE.UU.

Chauchard, L., 1991. Familia de Funciones de Volumen de Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl) Krasser). Actas de las VI Jornadas Técnicas : Inventarios Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado. Pag. 26-39. Argentina.

Donoso, C., 1985. Relaciones Vegetación-Altitud y Exposición en la Formación Forestal "Bosque Andino Abierto" en el Area de Bullileo. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. Chile.

Friedl, R.; Costas, R.; Maiocco, D.; Grance, L. y Palavecino, J., 1991. Construcción de Tablas de Volúmenes Estándares para (*Araucaria angustifolia* (Bert) o Ktze. Actas de las VI Jornadas Técnicas : Inventarios-Modelos de Producción y Crecimientos Forestales. Eldorado. Pag. 57-68. Argentina.

Gaillard de Benítez, C.; Gallo de Ferrari, J. y Pece de Ríos, M., 1988. Determinación de Curvas de Altura en Función del Diámetro en Parcelas Experimentales de Alamos de la Estación Experimental San Carlos, Departamento Banda, Santiago del Estero. Actas del VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero. Pag. 22. Argentina.

Little, T. y Hills, J., 1985. Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Ed Trillas. México.

Moore, D., 1983. Flora of Tierra del Fuego. Publicado por Anthony Nelson (England) y Missouri Botanical Garden (USA).

Muttarelli, E. y Orfila, E., 1971. Plan de Investigaciones Silvo-Dasocráticas en las Etapas de Ordenación, Recuperación y Producción Económica de los Bosques Andino-Patagónicos. Informe Final. Convenio CAFPTA-Cátedra de Dasonomía (UBA). Inédito. Cátedra de Botánica, Fac. de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP).

Neter, J. y Wasserman, W., 1973. Fundamentos de Estadística. Compañía Ed Continental. México.

Orfila, E., 1987. Consideraciones Dasométricas sobre (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl) Krasser en la Zona del Lago General Vintter, Prov. del Chubut, Rep. Argentina. Jornadas sobre Nothofagus. Villa La Angostura, Neuquén. Argentina.

Puente, M.; Marín, G. y Cuevas, R., 1985. Modelos de Rodal para Bosques de (*Nothofagus glauca* (Phil) Krasser en Bullileo. Dpto. de Manejo de Recursos Forestales. Investigación y Desarrollo Forestal. Chile.

Sokal, R y Rohlf, J., 1984. Introducción a la Bioestadística. Ed Reverté. España.

Uriarte, A. y Grosse, H., 1991. Los Bosques de Lengua. Una Orientación para su Uso y Manejo (Recopilación Bibliográfica). Informe Técnico N° 126. CORFO-INFOR. Chile.

Yamane, T., 1979. Estadística. Ed Harla. México.

