



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata

PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN:

**“MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA PARA *Nothofagus pumilio*
EN TIERRA DEL FUEGO”**

Pasante: Mariana Boyeras

Directores:

Ing. Enrique Wabö

Ing. Juan Manuel Cellini

Lugar de trabajo:

Cátedra de Biometría Forestal, Fac. de Cs. A. y Forestales, U.N.L.P.

Expediente: 200-4949.

RESUMEN

La distribución diamétrica es un factor importante para caracterizar las propiedades de un rodal. El diámetro generalmente está correlacionado con otras variables de interés como volumen, valor y tipificación de productos. La cuantificación de la distribución diamétrica y su relación con el sitio, la composición del rodal, la edad y la densidad, son elementos valiosos tanto para fines económicos como biológicos.

En este trabajo se evaluaron datos tomados en bosques de lenga en Tierra del Fuego, donde se llevaron a cabo mediciones de diámetros de individuos en parcelas de muestreo mediante cinta diamétrica. Se pueden observar diferencias en las distintas formas de las distribuciones diamétricas dadas por las distintas calidades de sitio.

INTRODUCCIÓN

La distribución diamétrica es un factor importante para caracterizar las propiedades de un rodal. El diámetro generalmente está correlacionado con otras variables de interés como volumen, valor y tipificación de productos (Arce *et al.*, 1999). La cuantificación de la distribución diamétrica y su relación con el sitio, la composición del rodal, la edad y la densidad, son elementos valiosos tanto para fines económicos como biológicos (Bailey y Dell, 1973). Para los bosques de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego existen diferencias estructurales debidas a cambios en la calidad de sitio del rodal (Martínez Pastur, *et al.* 2000), diferencias que pueden llegar a servir en la construcción de modelos de distribución diamétrica.

La distribución diamétrica es un indicador de la estructura del stock de crecimiento y permite elaborar conclusiones respecto a la estructura silvícola del rodal (Loetsch *et al.*, 1973). La construcción de modelos para predecir la forma en que se distribuyen las clases diamétricas de un bosque, es importante para estimar el tipo de productos a obtener en varias edades, así como en la determinación de regímenes de raleos. Para modelizar distribuciones diamétricas y área basal se han utilizado numerosas funciones probabilísticas, como la Normal, Logarítmica Normal, Gamma, Beta, S_B de Johnson, y Weibull y sus modificaciones (Arce *et al.*, 1999; Kuru *et al.*, 1992; Maltamo *et al.*, 1995; Fernández *et al.*, 1997).

A pesar de la importancia de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego, no se cuenta con información suficiente sobre la distribución diamétrica para esta zona. Se considera que establecer la distribución diamétrica para caracterizar las propiedades de un rodal es una herramienta muy valiosa para el manejo del bosque, así como, para fijar indicadores de crecimiento que permitan determinar la estructura del rodal.

El estudio de un modelo de distribución diamétrica permite determinar el momento más favorable para la realización de los raleos en las plantaciones. Además brinda información sobre los distintos productos que se pueden obtener del bosque. Las mismas son utilizadas para favorecer a los árboles de mayor diámetro que constituyen la parte más valiosa del stock de crecimiento (van Deusen, 1986). A su vez, debido a las diferencias en los diámetros en bosques de distinta calidad de sitio (Martínez pastur *et al.*, 2000) se puede inferir que el índice de sitio puede modificar la distribución diamétrica, siendo el caso de una variable forestal de fácil medición para la determinación la distribución diamétrica.

HIPOTESIS DE TRABAJO

La utilización de modelos matemáticos permiten predecir la distribución de diámetros de plantaciones forestales coetáneas a diferentes edades.

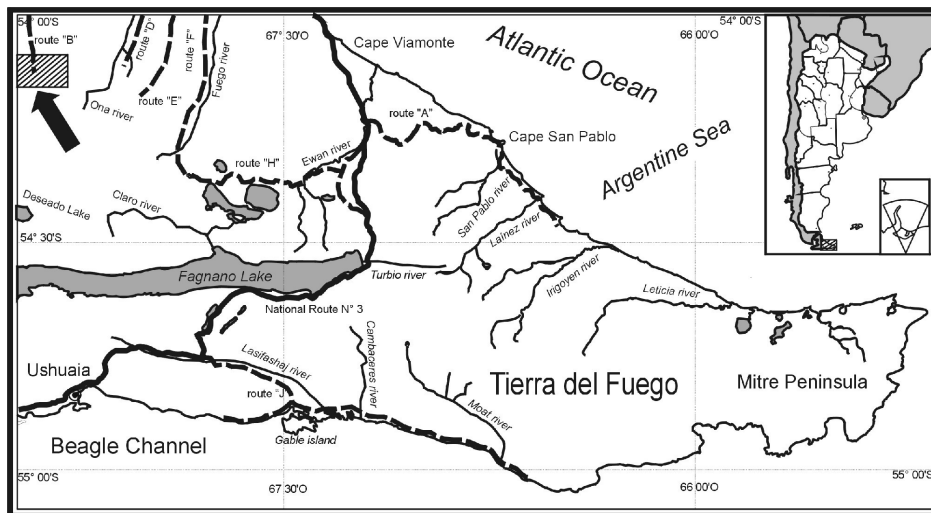
OBJETIVOS

Evaluar el comportamiento de la distribución Weibull para *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego, seleccionando un modelo de predicción para distribuciones diamétricas utilizando variables de usual medición en inventarios forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Area de estudio :

Se trabajó con datos tomados de las campañas forestales CADIC-UNLP de los años 1998, 2000, 2001 y 2002, donde se llevaron a cabo mediciones de diámetros de individuos en parcelas de muestreo mediante cinta diamétrica. Los datos fueron obtenidos de bosques de *Nothofagus pumilio* de Tierra del Fuego en la Estancia San Justo, en un gradiente de calidades de sitio definidos por Martínez Pastur *et al.* 1997.



Instalación de parcelas:

Se instalaron parcelas circulares de diámetros variables; el radio de la parcela debía tener una magnitud que permita:

- Que queden incluidos entre 20 y 30 árboles dentro de la parcela.
- A su vez el 80 % de estos árboles debían encontrarse en la misma fase de desarrollo. Las fases de crecimiento analizadas fueron crecimiento óptimo inicial (0-40 años), crecimiento óptimo final (40-120 años), envejecimiento (120-240 años) y desmoronamiento (240-500 años). Los mismos poseían una densidad completa según Fernández *et al.* (1997) (más del 80% del IDR_{25}) ya que la densidad influye sobre el crecimiento de los individuos del rodal. Por otra parte, los sectores mensurados no debían presentar árboles muertos en pie o árboles volteados ya que dicha dinámica también puede afectar los análisis a realizar.

Las parcelas se instalaron en sectores de densidad completa, sin presencia de aberturas en el canopy. Para definir cuando un rodal se encuentra con

densidad completa se adoptó el criterio propuesto por Fernández *et al.* (1997) (mas del 80% del IDR₂₅). Por otra parte se obtuvieron muestras de barreno de los árboles dominantes de la parcela, para conocer la edad del rodal. Las muestras fueron tomadas a 1,30 metros de altura orientando el barreno hacia el centro de la parcela, de manera de aleatorizar los puntos de muestreo sobre el fuste.

Toma de datos:

Se determinó el radio de parcela de manera que queden incluidos entre 20 y 30 árboles. Las mediciones realizadas a cada individuo fueron:

- *DAP* (diámetro a 1,30 mts. de altura) mediante una cinta diamétrica.
- Altura de los individuos dominantes de la parcela, utilizando clinómetro y distanciómetro, o mediante un hipsómetro láser (*Impulse de Laser Technology*).
- Fase de desarrollo.

Posteriormente en gabinete se calcularon parámetros del rodal que no existen a nivel de árbol individual:

- La altura dominante, definida como la altura promedio de los árboles dominantes de la parcela (Assman, 1970).
- El diámetro cuadrático medio, es decir el diámetro del árbol de área basal media.
- El área basal/ha.
- El volumen total con corteza por hectárea (VTCC), utilizando para el cálculo del volumen individual la siguiente función de volumen (Peri et al., 1997):

$$VTCC = 0.0003643024 \times (6 - CS)^{1.05036918} \times DAP^{(2.10038473 * (6 - CS)^{-0.07351124})}$$

- La densidad expresa en individuos por hectárea.
- La edad del rodal utilizando como tal la edad de los árboles dominantes.
 - Con la edad y la altura dominante se calculó el índice de sitio (IS₆₀) y la calidad de sitio. Para calcular el IS₆₀ se utilizaron los modelos definidos por Martínez Pastur *et al.* (1997):

Las clases de sitio poseen los siguientes rangos de IS₆₀:

SITIO	IS ₆₀
I	19.85-23.2
II	16.50-19.84
III	13.15-16.49
IV	9.8-13.14
V	<9.7

- El Índice de Homogeneidad, definido como:

$$IH = \frac{\sum Ni}{\sum Ni - ABi}$$

Ni es la suma del porcentaje de árboles hasta la clase i (el número total de clases menos 1) y ABi es la suma del % de área basal hasta la clase i (el número total de clases menos 1).

Este Índice es una modificación del original (Martínez Pastur *et al.*, 1994), ya que el mismo utiliza al volumen del árbol en lugar del área basal.

Para modelizar distribuciones diamétricas se ha utilizado la función Weibull, siendo necesario obtener los parámetros para dicha función. La distribución de Weibull ha demostrado ser una ecuación de gran plasticidad y simplicidad que se adapta con facilidad a distintas condiciones de rodal, y cuyo uso se ha generalizado en los últimos años (Nepal and Somers, 1992; Liu *et al.*, 1992; Maltamo *et al.*, 1995; Gertner *et al.*, 1995). En este trabajo se utilizó la función Weibull de dos parámetros (Maltamo *et al.*, 1995; Arce, 1996).

$$f(x) = \alpha \beta^{-\alpha} x^{(\alpha-1)} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$$

donde:

α : es el parámetro que define el origen de la distribución,

β : es el parámetro de escala

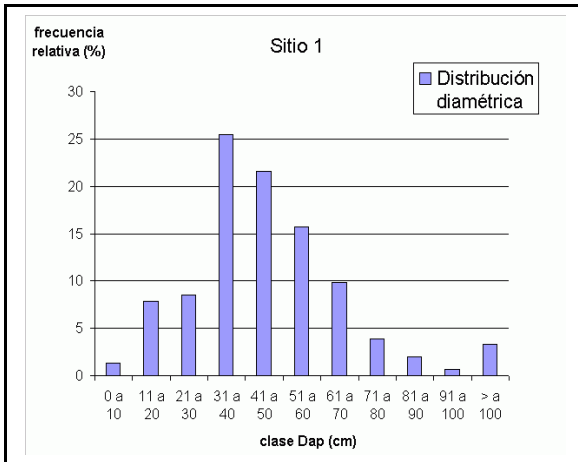
x : el diámetro a 1.3 m

El ajuste de los parámetros de los modelos se llevó a cabo mediante técnicas de regresión no lineal. Para la estimación de los parámetros se utilizó el algoritmo propuesto por Marquardt (1963). Para evaluar el ajuste de las regresiones se utilizó la prueba de F, el coeficiente t, el error del modelo y el análisis de los residuales. Mientras que para evaluar el ajuste del modelo de Weibull se realizó un análisis de los residuales por frecuencia diamétrica de cinco centímetros de acuerdo a lo propuesto por Maltamo *et al.* (1995), comprobando los valores modelizados contra los reales de las parcelas muestra.

RESULTADOS Y DISCUSION

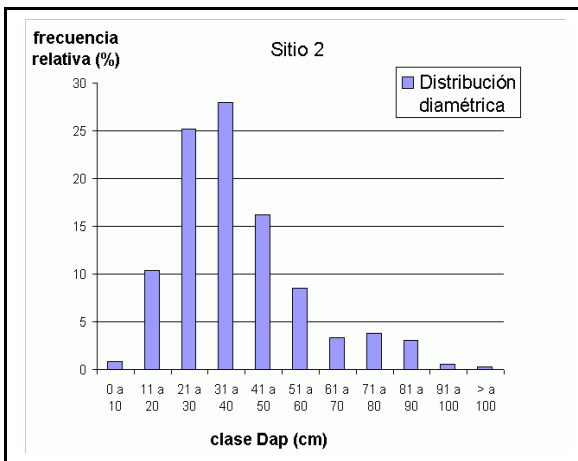
Las distribuciones diamétricas para cada calidad de sitio se presentan en las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5. Se observan que las distintas distribuciones para las calidades de sitio obedecen a un patrón similar, dado por presentar un mayor valor en las frecuencias diamétricas intermedias y menor en los extremos. Las diferencias para las distintas calidades de sitio se pueden observar en la Figura 6. Las frecuencias diamétricas en las calidades de sitio 4 y 5 se encuentran desplazadas hacia las clases de menor diámetro, en contraposición con las calidades de sitio altas (1 y 2) donde hay un comportamiento uniforme.

Figura 1. Distribución diamétrica de *N. pumilio* para la calidad de sitio 1.



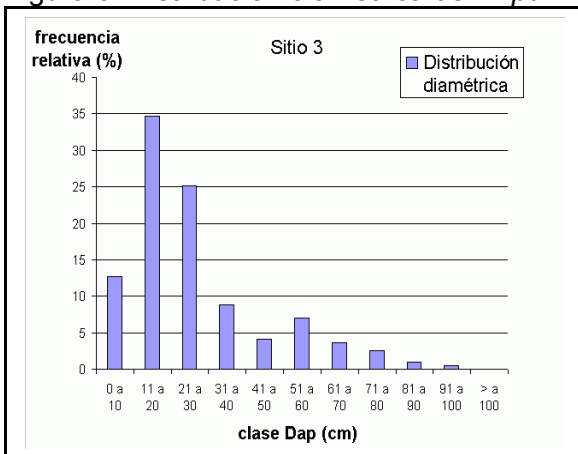
Dap = diámetro normal a 1,3 m.

Figura 2. Distribución diamétrica de *N. pumilio* para la calidad de sitio 2.



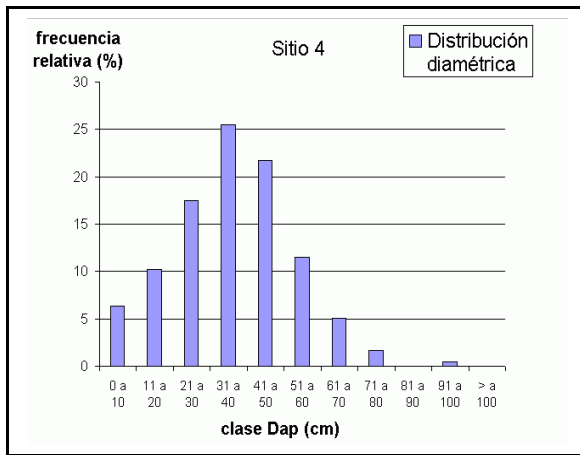
Dap = diámetro normal a 1,3 m.

Figura 3. Distribución diamétrica de *N. pumilio* para la calidad de sitio 3.



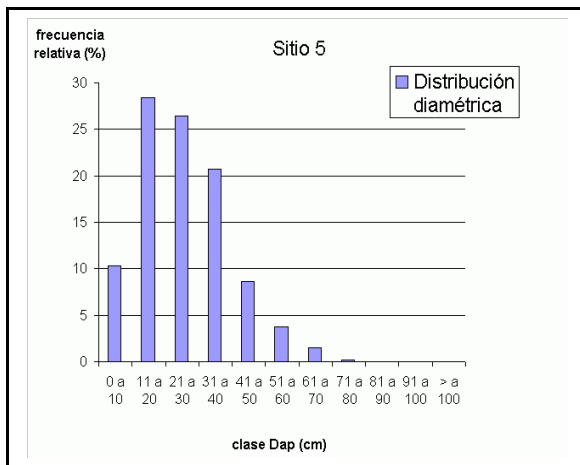
Dap = diámetro normal a 1,3 m.

Figura 4. Distribución diamétrica de *N. pumilio* para la calidad de sitio 4.



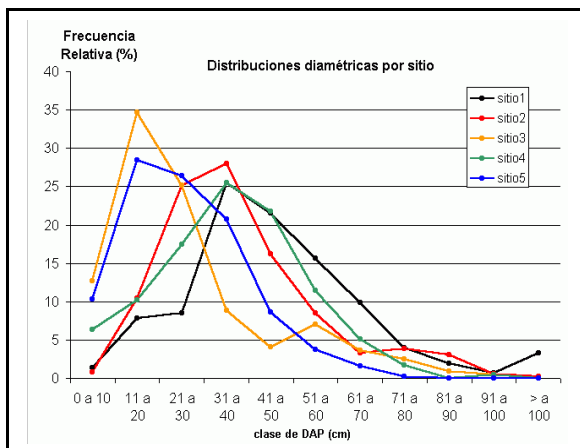
Dap = diámetro normal a 1,3 m.

Figura 5. Distribución diamétrica de *N. pumilio* para la calidad de sitio 5.



Dap = diámetro normal a 1,3 m.

Figura 6. Distribución diamétrica de *N. pumilio* discriminado por calidades de sitio.



Dap = diámetro normal a 1,3 m.

En la Tabla N° 1 se pueden observar los valores mínimos, máximos, la media y el desvío estándar de cada una de las variables consideradas en el análisis.

El parámetro a presenta una baja dispersión, no así el parámetro b, cuya dispersión es amplia.

El Índice de Homogeneidad, arrojó valores similares a los encontrados en los trabajos realizados en la zona de estudio (Fernández *et al.*, 1997).

En cuanto al sitio, edad, altura dominante, IS60, DCM, Fase dominante y densidad los resultados obtenidos son comparables con los obtenidos en otros trabajos realizados en la misma área. Los datos de volúmenes encontrados concuerdan con los encontrados por Martínez Pastur *et al.* (2000). El gradiente de volúmenes responde a un gradiente de calidades de sitio con valores similares de m³/Ha.

Estos resultados son importantes ya que al contar con una base de datos muy amplia la aplicabilidad del modelo ajustado será también amplia. Por lo antedicho el modelo se podrá aplicar a situaciones muy disímiles de estructura forestal.

Tabla 1: Variables estudiadas con sus desvíos.

Variable	n	Media	Mínimo	Máximo	Desvío Est.
Parámetro a	159	3,64	1,00	10,13	1,38
Parámetro b	159	38,48	3,38	76,88	16,35
IH	156	3,58	0,03	8,14	1,45
AB	159	73,02	34,91	116,57	18,42
SITIO	159	3,45	1,00	5,00	1,21
EDAD	121	211,36	25,00	480,00	114,75
HD	159	19,62	5,58	30,97	5,19
IS60	121	12,62	4,44	23,07	4,12
DCM	159	35,93	3,01	70,42	15,21
FASE DOM.	159	2,87	1,00	4,00	0,84
N/HA	159	2435,12	169,51	76394,37	7988,23
VTCC	159	708,11	166,22	1490,17	271,48

Parámetro a y b corresponde a los parámetros del Modelo de Weibull de dos parámetros, IH: índice de homogeneidad, AB: área basal (m²/Ha), Sitio según modelos de (Martínez Pastur *et al.* (1997), Edad, tomada al D.A.P, HD: altura dominante en metros, IS60: en metros, DCM: diámetro cuadrático medio en metros, Fase Dom: Fase dominante (1: Crecimiento Óptimo Inicial, 2: Crecimiento Óptimo Final, 3: Envejecimiento, 4: Desmoronamiento), N/Ha: número de individuos por Ha, VTCC: Volumen Total Con Corteza en m³/Ha.

Modelos

Se realizó un análisis de correlación para determinar las relaciones existentes en R² y p para los parámetros a y b de la ecuación con las variables estudiadas. Para el parámetro a las variables que presentaron una mejor correlación fueron el parámetro b, el IH, la Edad, el DCM, la Fase Dominante y la densidad.

Para el parámetro b, presente una buena relación con el parámetro a, el AB, la Edad, la altura dominante, el DCM, la fase dominante, la densidad y el VTCC.

Relaciones en R² y p para los parámetros a y b y las variables estudiadas

VARIABLE	A		B	
	R ²	p	R ²	p
Parámetro a	1,000	---	0,158	0,000
Parámetro b	0,158	0,000	1,000	---
IH	0,298	0,000	0,047	0,017
AB	0,040	0,027	0,341	0,000
SITIO	0,029	0,061	0,000	0,901
EDAD	0,185	0,000	0,741	0,000
HD	0,009	0,288	0,200	0,000
IS60	0,028	0,068	0,001	0,735
DCM	0,182	0,000	0,999	0,000
FASE DOM.	0,173	0,000	0,808	0,000
N/HA	0,055	0,009	0,219	0,000
VTCC	0,019	0,134	0,404	0,000

En la ecuación 1 se presenta la ecuación que define al parámetro a, al variables incluidas fueron las que definieron un mejor ajuste estadístico debido a su buen ajuste estadístico. En cuanto al IS60, si bien individualmente no presentó una buena correlación, al incluirlo en el modelo de predicción del parámetro a, mejoró el ajuste del mismo.

$$a = p_1 \times IS_{60}^{p_2} \times b^{p_3} \times DCM^{p_4} \quad (\text{Ec. 1})$$

La ecuación 2 permite la predicción del parámetro b. Como puede observarse, se logró un buen ajuste con la inclusión de una sola variable, el DCM, ya que el resto de las variables no aportaban un mejor ajuste al modelo.

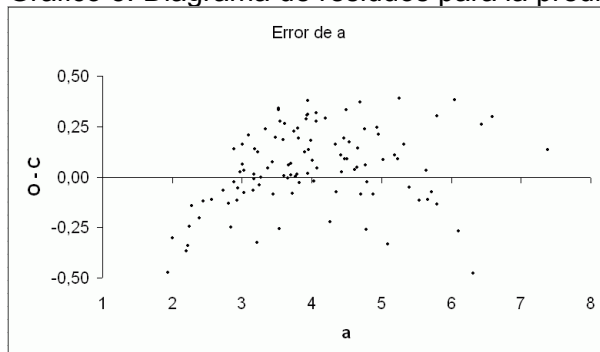
$$b = p_1 \times DCM^{p_2} \quad (\text{Ec. 2})$$

En la siguiente tabla se pueden observar los valores de los parámetros incluidos en ambas ecuaciones, el valor de R^2 , el número de parcelas analizadas en cada caso, el error y el error absoluto. Los estadísticos arrojaron valores aceptables para ambos modelos, con mejores resultados para el modelo del parámetro b.

	Modelo a	Modelo b
p_1	25,23620	1,07022
p_2	-0,01461	0,99981
p_3	-17,08667	-
p_4	14,843	-
R^2	91,010	97,487
n	119	159
\bar{e}	0,3451	2,6323
$ \bar{e} $	0,2286	1,5673

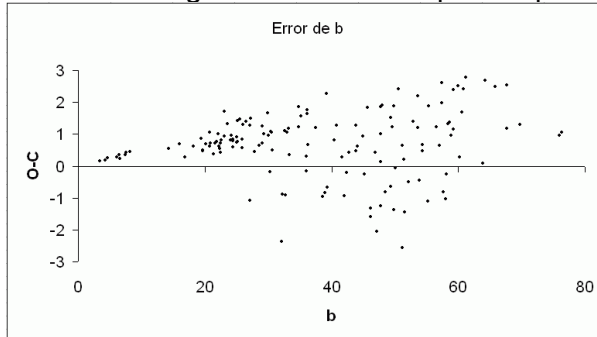
En el Gráfico 5 se observa la dispersión de los errores del parámetro a en un diagrama de residuos. Como puede observarse, el modelo sobreestima a valores bajos del parámetro, para valores mayores a 3 los valores positivos y negativos del error se encuentran compensados. Aproximadamente el rango del error es de +/- 0,3, considerándose un valor aceptable.

Gráfico 5. Diagrama de residuos para la predicción del parámetro a



En el Gráfico 6, se pueden observar los residuos para la predicción del parámetro b . En este caso, el modelo subestima para valores de b menores a 20. Para valores superiores, el modelo presenta un buen comportamiento.

Gráfico 6. Diagrama de residuos para la predicción del parámetro b



CONCLUSIÓN

Se pueden observar diferencias en las distintas formas de las distribuciones diamétricas dadas por las distintas calidades de sitio.

BIBLIOGRAFÍA

Arce, J.; Bratovich, R.; Marquina, J. L.; Marlats, R. M. (1999). Modelos dinámicos de distribuciones diamétricas en *Populus deltoides* Marsh. Conferencia Internacional Estadística en Estudios Medioambientales EMA'99, La Plata, 15 de Octubre. Pag. 21-32.

Bailey, R. L.; Dell, T. R. (1973). Quantifying diameter distributions with the Weibull function. For. Sci. 19: 97-104.

Fernández, M. C.; Martínez Pastur, G. J.; Peri, P. (1997). XVIII Reunión de la Asociación Argentina de Ecología. Pag 46.

Kuru, G.; Whyte, A.; Woollons, R. (1992). Utility of reverse Weibull and extreme value density functions to refine diameter distribution growth estimates. For. Ecol. Manage. 48: 165-174.

Loetsch, F.; Zöher, F.; Haller, K. E. (1973). Forest Inventory. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München. 469 pp.

Maltamo, M.; Puumalainen, J.; Päivinen, R. (1995). Comparison of Beta and Weibull Functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 10: 284-295.

Marquardt D.W., 1963. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics 2, 431-441.