

# LA RELACION HIPSONOMETRICA A TRAVES DEL TIEMPO EN *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

CRECHI, Ernesto Héctor (\*)  
FRIEDL, Ramón Alejandro (\*\*)  
FERNANDEZ, Roberto Antonio (\*\*\*)

## RESUMEN

Se estudió el comportamiento de la relación altura total-diámetro a la altura del pecho de árboles (relación hipsométrica) a partir de datos obtenidos en un ensayo de espaciamiento de *Araucaria angustifolia* a los 6, 8, 9, 11 y 19 años de edad.

Se ajustó el modelo de Henriksen ( $h = b_0 + b_1 \times \ln(d)$ ) a los datos obtenidos en cada una de las edades, evaluándose el ajuste a través de los estadísticos  $r^2$  y  $syx\%$ , así como mediante el análisis gráfico del comportamiento de las curvas ajustadas frente a los datos observados.

A pesar de que los valores del  $r^2$  resultaron relativamente bajos, las curvas ajustadas describieron adecuadamente la tendencia de los datos.

Con el incremento de la edad de las plantas, se observó un desplazamiento hacia arriba y hacia la derecha de las curvas ajustadas, acompañado de un aumento de la pendiente.

*Palabras claves:* Relación hipsométrica, *Araucaria angustifolia*, Misiones, Argentina.

## HYPSONOMETRIC FUNCTION TROUGH TIME FOR *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

### SUMMARY

Behavior of relation between total height/breast height diameter (hypsonometric function) was studied from data obtained on a densities essay of *Araucaria angustifolia* measured at 6, 8, 9, 11 and 19 years of age.

Henriksen model ( $h = b_0 + b_1 \times \ln(d)$ ) was adjusted to each age data. The fitting was evaluated through the statistics  $r^2$  and  $syx\%$ , complementing with a graphically evaluation of the behavior of the fitted curves in front of the observed data.

Although the  $r^2$  values were relatively low, the curves represented an adequate description of the tendency of data, when they were graphically evaluated.

With the increase of the age of plants, the fitted curves were displaced up and to the right, together with an slope increase.

*Key words:* Hypsonometric function, *Araucaria angustifolia*, Misiones, Argentina.

(\*) Ing. Ftal., Técnico del Dpto. Forestal, E.E.A. INTA Montecarlo, Misiones.

(\*\*) Ing. Ftal., M. Sc., Profesor, Facultad de Ciencias Forestales, Eldorado, Misiones.

(\*\*\*) Ing. Agr., M. Sc., Técnico del Dpto. Forestal, E.E.A. INTA Montecarlo, Misiones.

## INTRODUCCION

Una relación hipsométrica describe la relación funcional entre las alturas y los diámetros de árboles de una masa forestal.

Resulta una herramienta de gran utilidad en manejo forestal, ya que permite estimar alturas a partir de los datos de diámetro, cuya medición resulta más rápida y económica que la de aquella.

Cabe recordar la multiplicidad de situaciones que requieren disponer de la estimación de la altura, tales como: procesamientos de datos de inventarios, aplicación de modelos de crecimiento y producción, determinación de altura dominante para caracterización de sitios, etcétera.

Aplicaciones de esta herramienta estadística pueden encontrarse en Blanco Jorge (1983), Glade (1986), Gaillard de Benítez *et al.* (1988).

Este trabajo constituye un aspecto parcial del procesamiento de datos correspondientes a un ensayo de densidades de *Araucaria angustifolia*.

Los objetivos planteados son los siguientes:

— Ajustar un modelo de relación hipsométrica a los datos correspondientes a diferentes años de medición.

— Evaluar el ajuste obtenido y describir el comportamiento de las ecuaciones correspondientes a cada edad.

## MATERIALES Y METODOS

### Localización del ensayo

Para la realización del trabajo se emplearon datos levantados en un ensayo de densidades, instalado en el Campo Anexo Cuartel Río Victoria (INTA-Misiones), Departamento Guaraní, Provincia de Misiones, Argentina, sobre la Ruta Nacional 14, entre las localidades de Dos de Mayo y San Vicente.

Sus coordenadas geográficas son 26° y 56' de latitud Sur y 54° y 24' de longitud Oeste, siendo la altitud de 534 m.s.n.m.

### Suelo y clima

El ensayo se encuentra instalado en un suelo rojo profundo (kandiudult, Soil Survey Staff), que corresponde a la Unidad Cartográfica 9, según el Relevamiento Edafológico de la Provincia (Mancini *et al.*, 1964).

El clima corresponde a la región climática 5 según Golfari (1965). Por mayores detalles ver Friedl *et al.* 1990.

### Descripción del ensayo

El ensayo fue implantado en 1971 e incluye 10 tratamientos o densidades de plantación inicial, acotadas en sus extremos por 625 y 4444 plantas por hectárea y fue instalado para evaluar el efecto de la densidad sobre la producción. La Tabla 1 describe los tratamientos aplicados.

En la implantación del ensayo se utilizó semilla de tipo comercial, siendo el tamaño inicial de las parcelas de 20 m x 50 m, las cuales fueron dispuestas en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones.

**Tabla 1.** Tratamientos o densidades iniciales aplicadas en el ensayo

Tratamiento Número	Distanciamiento de plantación (m)	Densidad (plantas/ha)
1	1.5 x 1.5	4.444
2	1.5 x 2.0	3.333
3	2.0 x 2.0	2.500
4	2.0 x 2.5	2.000
5	2.0 x 3.0	1.666
6	2.5 x 2.5	1.600
7	2.5 x 3.0	1.333
8	3.0 x 3.0	1.111
9	3.5 x 3.5	816
10	4.0 x 4.0	625

### Levantamiento de datos

Se han realizado mediciones de diámetro y por lo menos algunas alturas en los años 1977, 1979, 1980, 1982 y 1990, que corresponden a las edades de 6, 8, 9, 11 y 19 años respectivamente. En los años 1978 y 1983 se midió solamente los diámetros.

En 1977 se midió la altura total de todos los árboles, en los años 1979 y 1980 se midió la altura total de una muestra de 15 árboles por parcela, mientras que en 1982 y 1990 el tamaño de dicha muestra fue de 10 árboles por parcela.

Para la medición de las alturas se han utilizado hipsómetros trigonométricos.

### Procesamiento de los datos

Se agruparon inicialmente los pares de altura - diámetro correspondientes a cada edad de medición y al conjunto de los tratamientos, a partir de los cuales se ajustó el modelo propuesto por Henriksen (Según Glade 1986 y Gaillard de Benítez *et. al.* 1988), o sea:

$$h = b_0 + b_1 \times \ln(d)$$

donde:

h = altura total del árbol (m)

d = diámetro a la altura del pecho (cm)

b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub> = coeficientes del modelo

ln = transformación logaritmo natural

La selección del modelo se basó en antecedentes, Gaillard de Benítez *et. al.* (1988), que se refieren a la simplicidad del modelo y a la forma cóncava que describe su curva, coincidente con la representación gráfica de los datos muestrales.

Para la obtención de los coeficientes se utilizó el método de los mínimos cuadrados, evaluándose la calidad del ajuste a través del coeficiente de determinación (r<sup>2</sup>), el error estándar de la estimativa (syx), el coeficiente de variación (syx %), así como el análisis gráfico de las curvas ajustadas frente a los datos observados.

Se representó en un sistema de ejes coordenados, las curvas correspondientes a las diferentes edades, a los efectos de evaluar gráficamente el comportamiento de las mismas.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Los coeficientes, las estadísticas de ajuste, el tamaño de la muestra y las alturas medias obtenidas para cada edad, se

presentan en la Tabla 2.

Los resultados obtenidos permiten detectar una cierta tendencia creciente del coeficiente b<sub>0</sub> hasta la edad de 9 años, a la edad de 19 años presenta un valor negativo; mientras que el coeficiente b<sub>1</sub> presenta una tendencia creciente en el rango de edades estudiado.

Los indicadores de ajuste no manifiestan una tendencia clara.

Los valores obtenidos para el r<sup>2</sup> y syx%, no difieren significativamente de los resultados obtenidos por Blanco Jorge (1983), los cuales fueron de r<sup>2</sup> = 0,5580 y syx% = 9,87.

Las Figuras 1, 2, 3, 4 y 5, muestran el comportamiento de las curvas ajustadas frente a los datos observados para cada una de las edades estudiadas.

Las figuras anteriores muestran un comportamiento adecuado del modelo ajustado en todas las edades estudiadas, al pasar la curva prácticamente por el centro del diagrama de dispersión, acompañando la tendencia de la relación y no manifestándose en ninguno de los casos tendenciosidad de la curva respecto de los datos observados.

Este análisis sugiere la necesidad de tener cuidado al evaluar los modelos mediante el uso exclusivo de indicadores estadísticos tipo r<sup>2</sup>, ya que en este caso, los valores de r<sup>2</sup> obtenidos podrían suponer ajustes relativamente deficientes, mientras que por otro lado al analizar gráficamente el comportamiento de las curvas ajustadas frente a los datos observados, se observa una descripción bastante correcta de la relación altura-diámetro; lo que también queda de manifiesto al analizar los coeficientes de variación de los residuos (syx%), todos menores al 11%.

Tabla 2

Edad	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	r <sup>2</sup>	syx	syx %	$\bar{h}$	n
6	0,7054	2,8576	0,71	0,72	10,10	7,13	3497
8	1,6445	3,2876	0,50	0,84	8,08	10,40	452
9	2,7938	3,0025	0,45	0,71	6,28	11,31	450
11	2,7828	3,3915	0,52	0,74	5,79	12,79	300
19	-3,9050	6,5575	0,73	1,30	7,42	17,52	299

Figura 1. Comportamiento de la curva ajustada frente a los datos observados a los 6 años

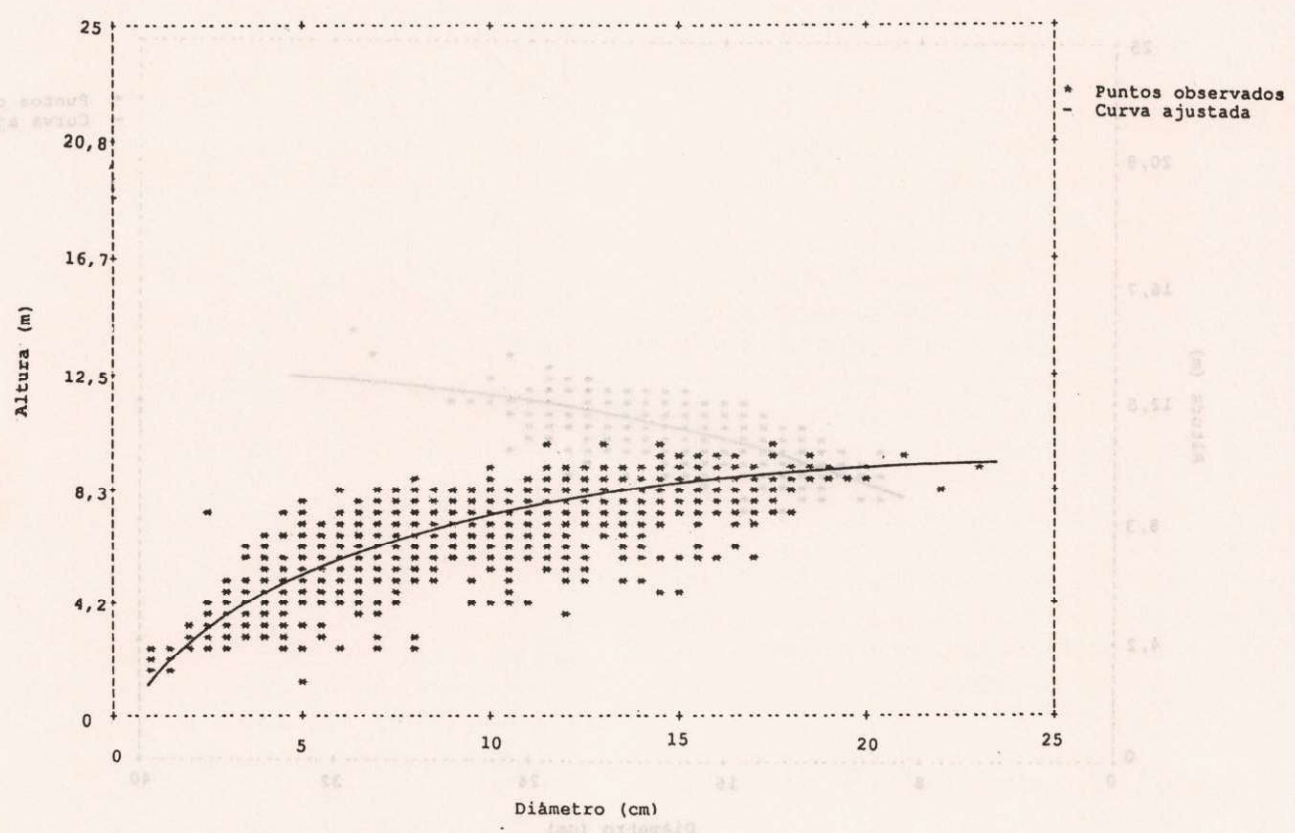


Figura 2. Comportamiento de la curva ajustada frente a los datos observados a los 8 años

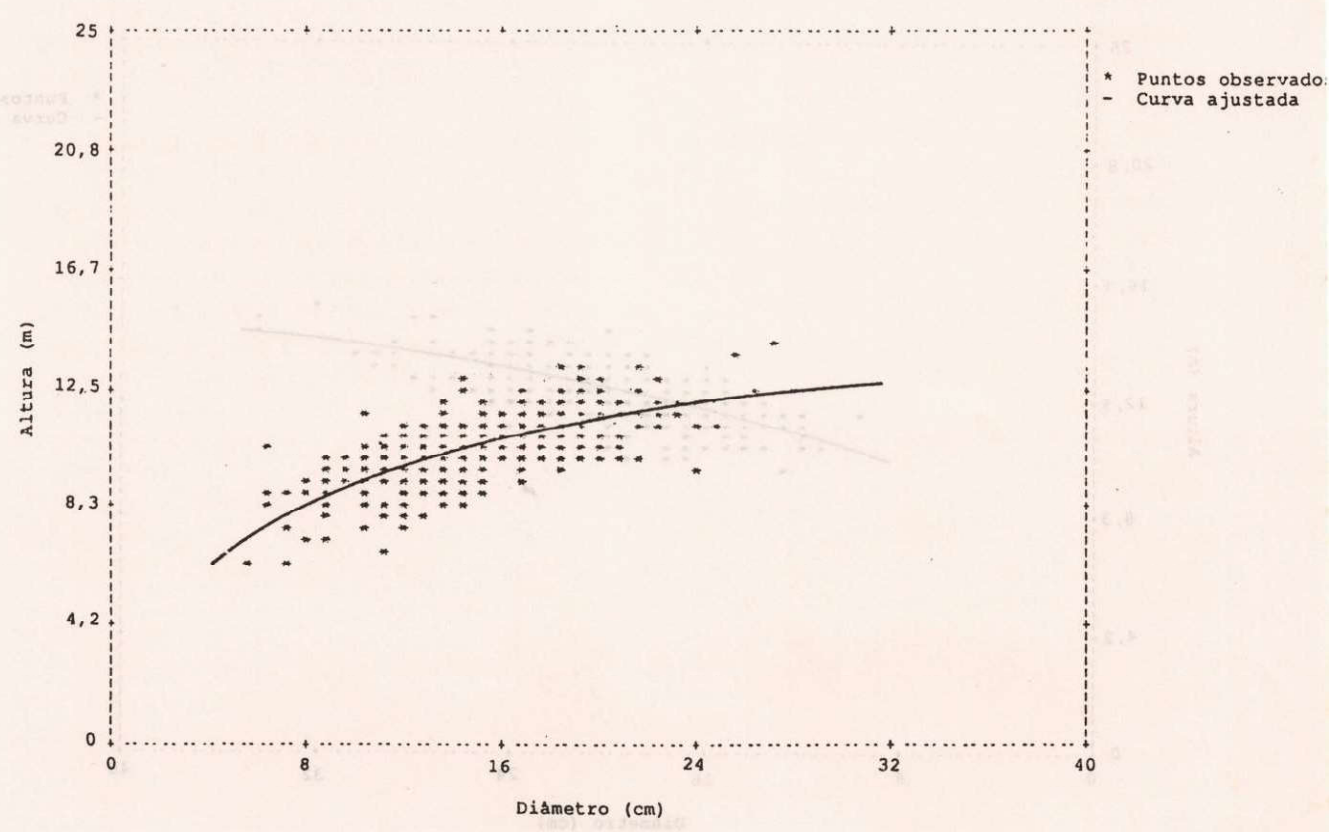


Figura 3. Comportamiento de la curva ajustada frente a los datos observados a los 9 años

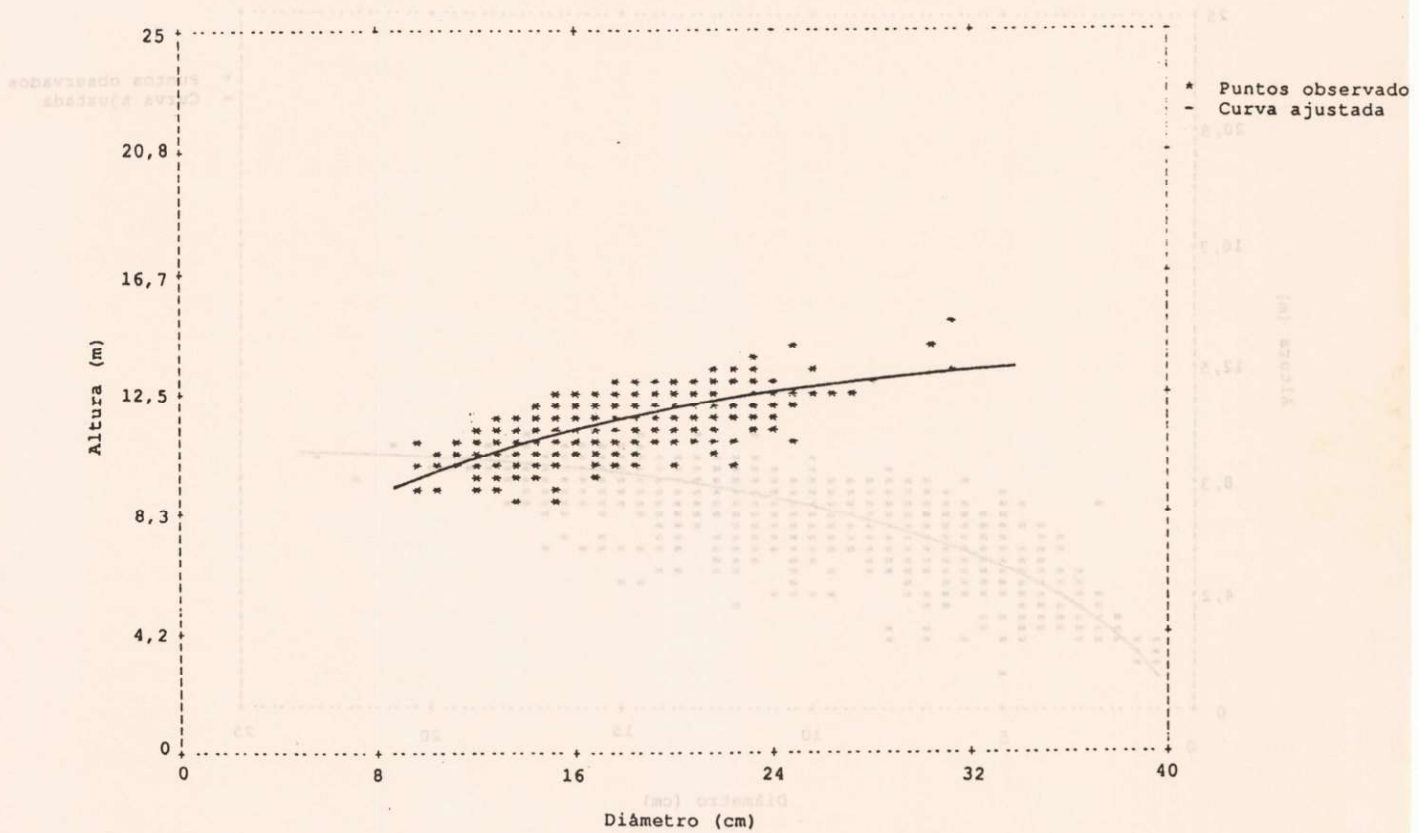


Figura 4. Comportamiento de la curva ajustada frente a los datos observados a los 11 años

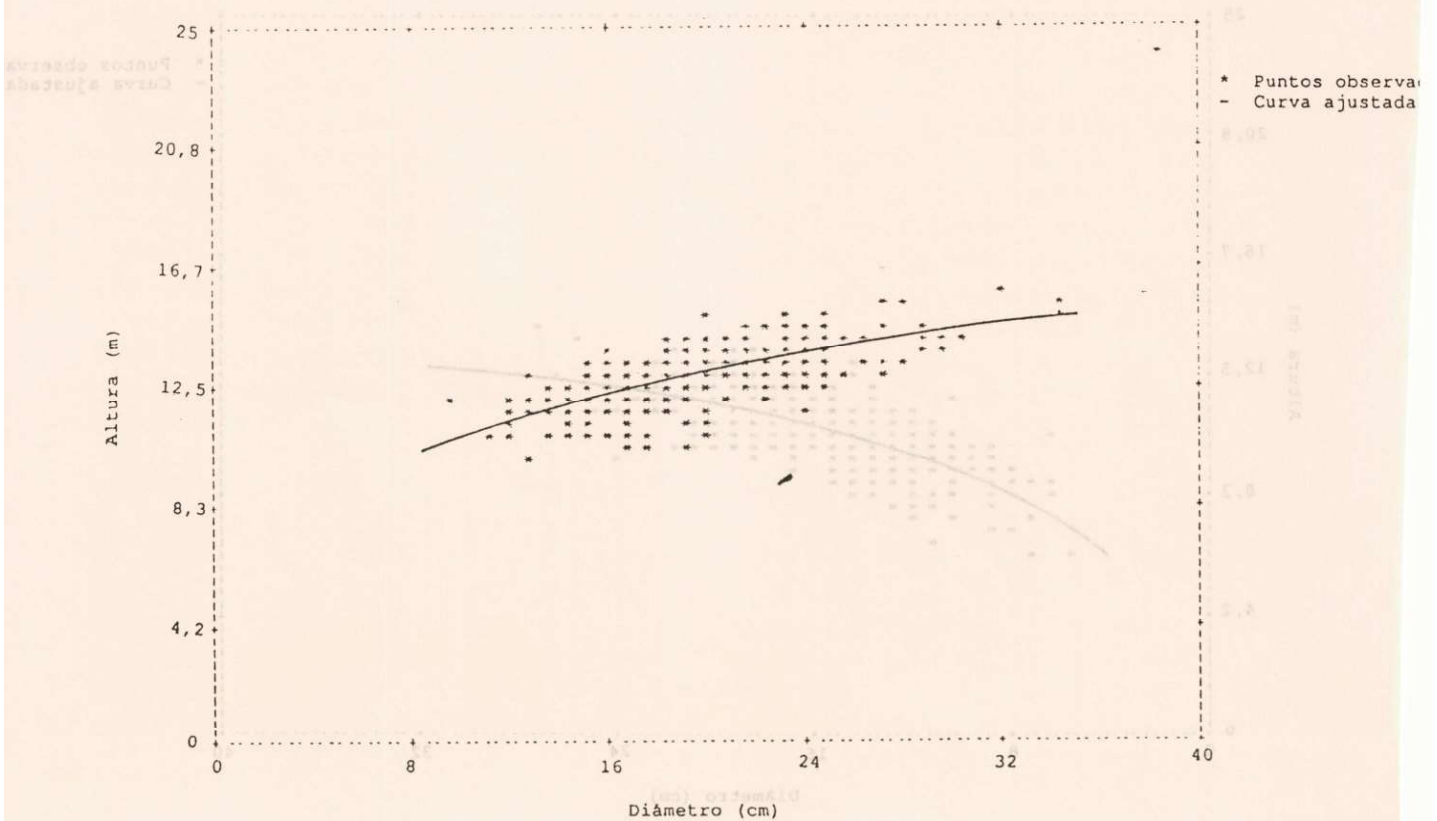


Figura 5. Comportamiento de la curva ajustada frente a los datos observados a los 19 años

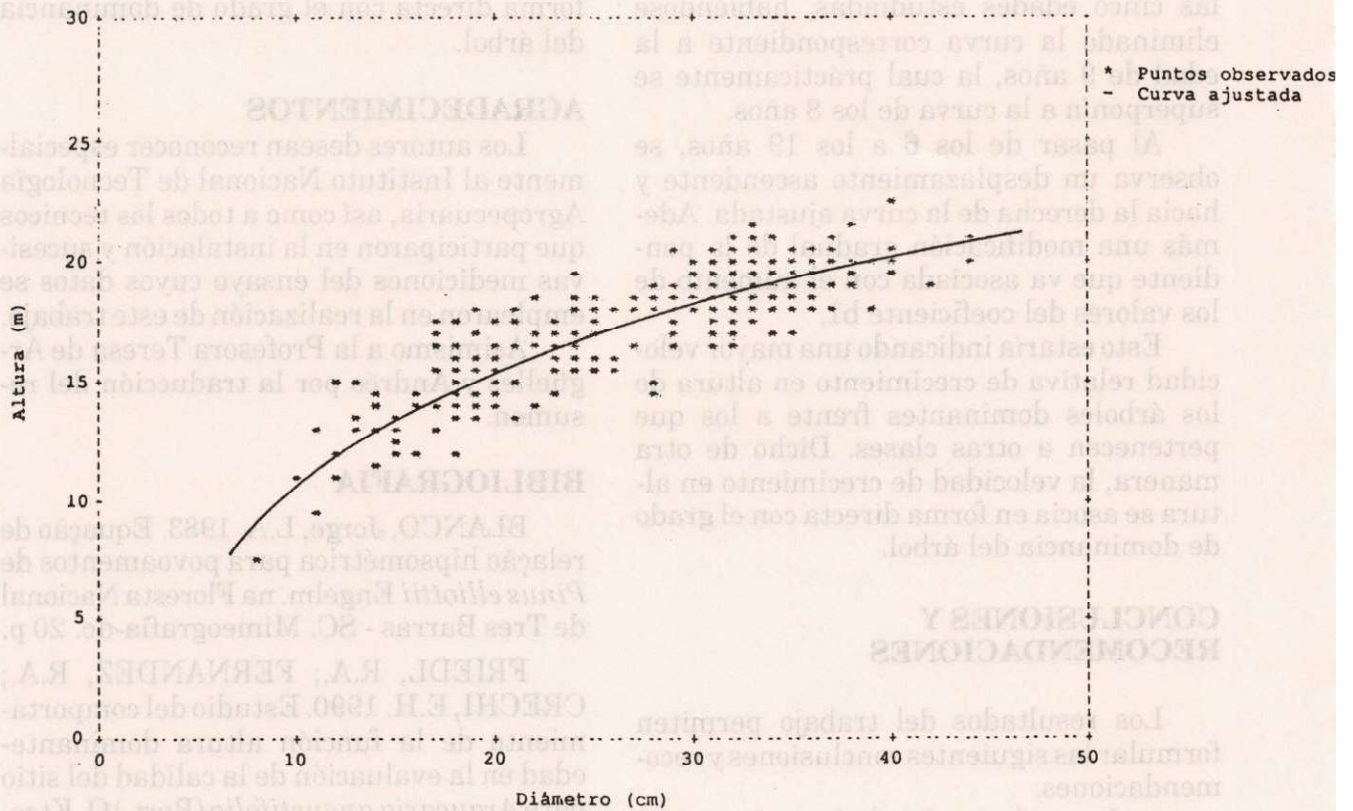
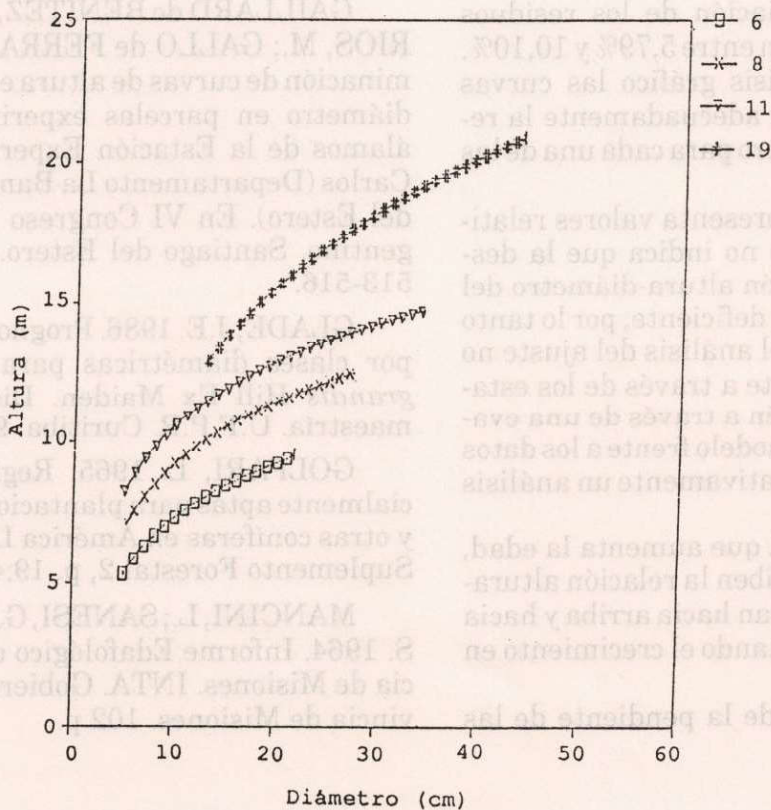


Figura 6. Comportamiento de las curvas ajustadas a los 6, 8, 11 y 19 años



La Figura 6, representa en forma conjunta las curvas ajustadas para cuatro de las cinco edades estudiadas, habiéndose eliminado la curva correspondiente a la edad de 9 años, la cual prácticamente se superponía a la curva de los 8 años.

Al pasar de los 6 a los 19 años, se observa un desplazamiento ascendente y hacia la derecha de la curva ajustada. Además una modificación gradual de la pendiente que va asociada con el aumento de los valores del coeficiente  $b_1$ .

Esto estaría indicando una mayor velocidad relativa de crecimiento en altura de los árboles dominantes frente a los que pertenecen a otras clases. Dicho de otra manera, la velocidad de crecimiento en altura se asocia en forma directa con el grado de dominancia del árbol.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados del trabajo permiten formular las siguientes conclusiones y recomendaciones:

— Los valores de  $r^2$  obtenidos en el ajuste del modelo de Henriksen varían de 0,45 a 0,73, mientras los valores de los coeficientes de variación de los residuos ( $syx\%$ ) se encuentran entre 5,79% y 10,10%.

— En un análisis gráfico las curvas ajustadas describen adecuadamente la relación altura-diámetro para cada una de las edades estudiadas.

— Si bien el  $r^2$  presenta valores relativamente bajos, esto no indica que la descripción de la relación altura-diámetro del modelo ajustado sea deficiente, por lo tanto se recomienda que el análisis del ajuste no se realice únicamente a través de los estadísticos, sino también a través de una evaluación gráfica del modelo frente a los datos observados, o alternativamente un análisis de residuos.

— En la medida que aumenta la edad, las curvas que describen la relación altura-diámetro, se desplazan hacia arriba y hacia la derecha, acompañando el crecimiento en diámetro y altura.

— El aumento de la pendiente de las

curvas con la edad manifiestan que la velocidad de crecimiento en altura se asocia en forma directa con el grado de dominancia del árbol.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean reconocer especialmente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, así como a todos los técnicos que participaron en la instalación y sucesivas mediciones del ensayo cuyos datos se emplearon en la realización de este trabajo.

Asimismo a la Profesora Teresa de Argüelles y Andrés por la traducción del resumen.

## BIBLIOGRAFIA

BLANCO, Jorge, L.A. 1983. Equação de relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na Floresta Nacional de Tres Barras - SC. Mimeografía-do. 20 p.

FRIEDL, R.A.; FERNANDEZ, R.A.; CRECHI, E.H. 1990. Estudio del comportamiento de la función altura dominante en la evaluación de la calidad del sitio para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Trabajo presentado a la Revista Yvyraretá. 13 p.

GAILLARD de BENITEZ, C.; PECE de RIOS, M.; GALLO de FERRARI, J. Determinación de curvas de altura en función del diámetro en parcelas experimentales de álamos de la Estación Experimental San Carlos (Departamento La Banda, Santiago del Estero). En VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero. Tomo II, p. 513-516.

GLADE, J.E. 1986. Prognose de volume por clases diamétricas para *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. Disertación de maestría. U.F.P.R. Curitiba. 94 p.

GOLFARI, L. 1965. Regiones potencialmente aptas para plantaciones de *Pinus* y otras coníferas en América Latina. IDIA. Suplemento Forestal 2, p. 19:48.

MANCINI, L.; SANESI, G.; LASERRE, S. 1964. Informe Edafológico de la Provincia de Misiones. INTA. Gobierno de la Provincia de Misiones. 102 p.