

# Funciones de calidad de sitio para *Pinus Elliotti* Engelm en Misiones (Argentina)\*

---

H. E. FASSOLA

E. WABO\*\*

---

## RESUMEN

Utilizando una base de datos constituida por el análisis fustal de 60 árboles de *Pinus elliotti* Engelm., provenientes de la zona ecológica Misiones Norte (Argentina) (Papadakis, 1974), se desarrollaron funciones de sitio para la especie utilizando diversos modelos y metodologías de ajuste. Mediante una prueba de estabilidad contra sus propios datos se determinó que el modelo de Schumacher con pendiente común era el que brindaba mejores resultados, tomando éste la siguiente forma:  $LN (IS) + Ln (H) + 8,34524 * (1/E - 1/15)$ . Siendo IS = índice de sitio, H = altura dominante, E = edad y 15 la edad base seleccionada. Posteriormente, mediante el empleo de una muestra independiente constituida por las observaciones provenientes del análisis fustal de 14 árboles, se determinaron los errores de estimación del Índice de Sitio, observándose que los mayores errores se producen a edades jóvenes.

*Palabras clave:* Manejo Forestal, Funciones de Sitio, Índice de Sitio, *Pinus elliotti* Engelm., Misiones (Arg.).

---

\* Trabajo realizado en el marco del convenio IFONA-Pcia. de Misiones.

\*\* Ex Técnicos del Instituto Forestal Nacional.

---

## SUMMARY

Using a *Pinus elliotti* Engelm. stem analysis data base, from the ecologic zone North Misiones (Argentina) (Papadakis, 1974), site functions were developed applying different models and methodologies. An stability test of the curves determined that Schumacher's model with common slope (Alder, 1984) was the more accurate. The selected function was:  $Ln (SI) = Ln (H) + 8.34524 * (1/E - 1/15)$ , where SI = site index, H = dominant height, E = age, 15 = base age. Later, with an independent sample from 14 stem analysis, the model was tested estimating the Site Index errors. As a result of this was established that the error were higher at low ages.

*Key words:* Forest Management, Site Functions, Site Index, *Pinus elliotti* Engelm., Misiones (Arg.).

## INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

Las forestaciones de *P. elliotti* Engelm. se encuentran ampliamente difundidas en el país, ocupando extensas áreas en las provincias de Misiones, Corrientes, Córdoba y Entre Ríos. Dado que en esta especie es posible ubicar los rodales de mayor edad entre las coníferas implantadas, los estudios de rendimiento y crecimiento pueden ser encarados en la misma contando con la ventaja de mejores fuentes para la obten-



ción de la información básica necesaria. Uno de los aspectos iniciales a considerar en estos estudios es la calidad de sitio ya que ella determinará su virtualidad productiva. La falta de dichos estudios motivó la realización del presente trabajo en la especie de más antigua difusión en la provincia de Misiones, donde se encuentra la mayor cantidad de hectáreas implantadas con ella.

Para ello se adoptó la forma de evaluación conocida como método del Índice de Sitio (IS), a través del desarrollo de una familia de curvas altura-edad, donde el índice de sitio es la altura dominante a una determinada edad o edad base (EB) (Clutter et al., 1983).

Cabe aclarar que la altura y el volumen, que es en definitiva la característica principal envuelta en la evaluación del sitio (más influenciado por prácticas silviculturales, la densidad del rodal y menos controlado genéticamente que la altura), no están relacionados del mismo modo respecto de los factores ambientales (Mader, 1963; Cox, 1982). Esto puede provocar una respuesta diferenciada en rodales de igual edad e igual índice de sitio, que no puede desconocerse en la predicción del rendimiento. Caso contrario, se corre el riesgo de que los errores asociados a modelos de nivel regional pierdan su carácter aleatorio al aplicarlos a nivel local; aunque Assman, citado por Cox (1982), sostiene que dicho error se puede plantear a nivel regional, razón por la cual la utilización del volumen es teóricamente deseable si puede ser medido en forma adecuada y fácil como ocurre en los países europeos que cuentan con parcelas permanentes medidas durante largos períodos. Dado que dicha información no es factible de obtener, en nuestro país se optó por utilizar la altura dominante como expresión de la calidad de sitio, parámetro también propuesto por Larguía (1976).

## MATERIALES Y METODOS

### *Area de muestreo*

Para su estudio, Larguía (1976) propone dividir a la provincia en dos regiones, de monte y de campo, en virtud de las diferentes condiciones de crecimiento imperantes en las mismas. En el presente caso se adoptó

el mismo criterio, aunque dentro del área de monte sólo se operó en la zona conocida como Zona Ecológica Misiones Norte (Papadakis, 1974), diferenciando de esta forma el área lindante con el Río Paraná de la zona de Sierra. Este sector abarcó en forma casi total los Departamentos de Candelaria, San Ignacio, San Martín, Montecarlo, Eldorado, Iguazú y porciones mínimas de los Departamentos Leandro N. Alem, Oberá y Cainguas, con una superficie aproximada de 760.000 ha (Mapa 1). Las razones para adoptar esta zonificación fueron: a) la existencia de un mayor número de plantaciones y mayores edades; y b) la presunción de existencia de diferentes patrones de crecimiento.

El clima es de tipo semitropical húmedo o subtropical-húmedo. La altura sobre el nivel del mar oscila entre los 100 y 500 metros. El relieve es colinado y los suelos en su mayor parte han sido formados por la meteorización del meláfiro, bajo lixiviación intensa y buen drenaje, dominando en consecuencia las arcillas. Unos pocos suelos se formaron de arenisca y otros son aluvionales, pero los materiales provienen de la erosión de la "tierra colorada" (Papadakis, 1974).

### *Selección de la muestra*

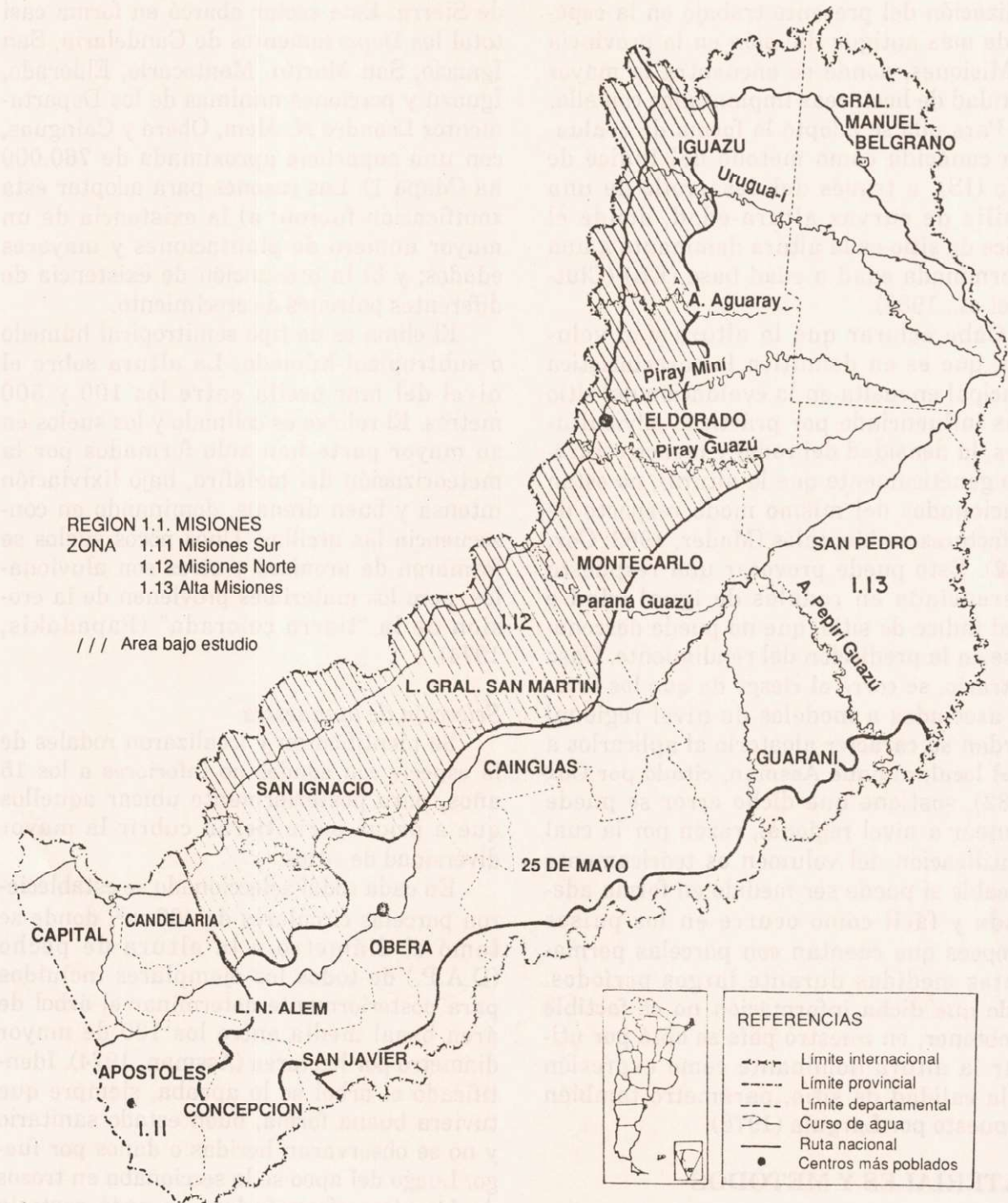
Se identificaron y localizaron rodales de la especie con edades no inferiores a los 15 años, para posteriormente ubicar aquellos que a priori permitieran cubrir la mayor diversidad de sitios.

En cada rodal seleccionado se establecieron parcelas circulares de 400 m<sup>2</sup>, donde se tomó el diámetro a la altura de pecho (D.A.P.) de todos los ejemplares incluidos para posteriormente determinar el árbol de área basal media entre los 100 de mayor diámetro por hectárea (Assman, 1974). Identificado el árbol se lo apeaba, siempre que tuviera buena forma, buen estado sanitario y no se observaran heridas o daños por fuego. Luego del apeo se lo seccionaba en trozos de 1 metro, efectuándose en cada corte la lectura de los anillos; esta lectura se realizaba también en el tocón a fin de determinar su edad.

Se efectuó el análisis fustal de 74 árboles, de los cuales 60 se utilizaron para el desarrollo de las funciones y 14 fueron utili-



MISIONES



Mapa 1. Zonas ecológicas de Misiones (adaptado de J. Papadakis, *La agricultura argentina y sus problemas*).



zados como muestra independiente, seleccionados al azar, para validar los modelos obtenidos.

**Procesamiento de la información**

Los datos correspondientes a cada árbol fueron procesados a fin de obtener la altura alcanzada a cada edad. Dado que el corte no es necesariamente coincidente con el punto en que concluye el crecimiento en altura del año, se procedió a corregir la información con el método propuesto por Carmean (1971).

Efectuada esta corrección se procesaron los pares de datos altura-edad a fin de obtener funciones de sitio utilizando: a) el método de la Curva Guía; b) el método de Regresión Jerárquica con Estimadores de Pendiente Común; c) el método de Ajuste Paramétrico; y d) el método de Regresión Jerárquica con Estimadores de Término Independiente Común (Bailey et al., 1974; Alder, 1980; Cluter et al., 1984).

Los modelos utilizados para desarrollar las funciones fueron los siguientes:

**1. Modelo de Schumacher**

$$H = A * \text{EXP} (B / \text{EDAD} \wedge C)$$

**2. Modelo Logístico**

$$H = A / (1 + \text{EXP} B + C * \text{EDAD})$$

**3. Modelo de Chapman-Richards**

$$H = A * (1 - \text{EXP} (K * \text{EDAD})) \wedge M$$

Siendo:

$$M = 1/1-d$$

H = altura dominante

A, B, C, K, M = parámetros

Las diferentes metodologías aplicadas permitieron obtener diversas funciones a las cuales se les efectuó una prueba de estabilidad contra sus propios datos (King, 1966). La prueba consistió en determinar si las medias de las alturas para cada edad y correspondientes a una misma clase de sitio (2 m de amplitud) sobrepasaban o no los límites de la clase.

Por último, se procedió a comprobar la bondad del ajuste del modelo seleccionado, determinando los errores de estimación del Índice de Sitio contra la muestra independiente (Vergara, R. et al., 1985).

**RESULTADOS**

Las funciones fueron desarrolladas con datos provenientes de 60 árboles, cuya distribución por edades y clases de sitio, asignada de acuerdo con la altura a los 15 años de edad, a la que se consideró como edad base (EB), se detallan en el Cuadro 1. El total de observaciones o pares altura-edad fueron 816.

**Cuadro 1.** Distribución de la muestra por edades y clases de sitio

Edad años	Obs./Clase de sitio					Arb./Edad N°
	17	19	21	23	25	
15			6	5	1	12
16			7	5	2	14
17			8	6	1	16
18			1	2		3
19			1		1	2
20			1	1	1	3
21			2	2		4
22			1			1
23	1			1		2
24						
25					1	1
26	1			1		2
Subt. Obs./clase Total	41	350	312	79	34	816
Subt. Arb./clase Total	2	27	23	6	2	60

**Selección del modelo y prueba de estabilidad**

Las funciones surgidas de los distintos métodos aplicados fueron sometidas a una prueba de estabilidad contra sus propios datos. Como resultado de ésta pudo constatar que el modelo de Schumacher de pendiente común era el que presentaba menores desvíos de las medias de las alturas observadas para cada edad y clase de sitio en relación a las calculadas. Aunque tal como puede observarse en la figura 1 y especialmente a edades menores se produce una falta de estabilidad (Clases I, II, III y

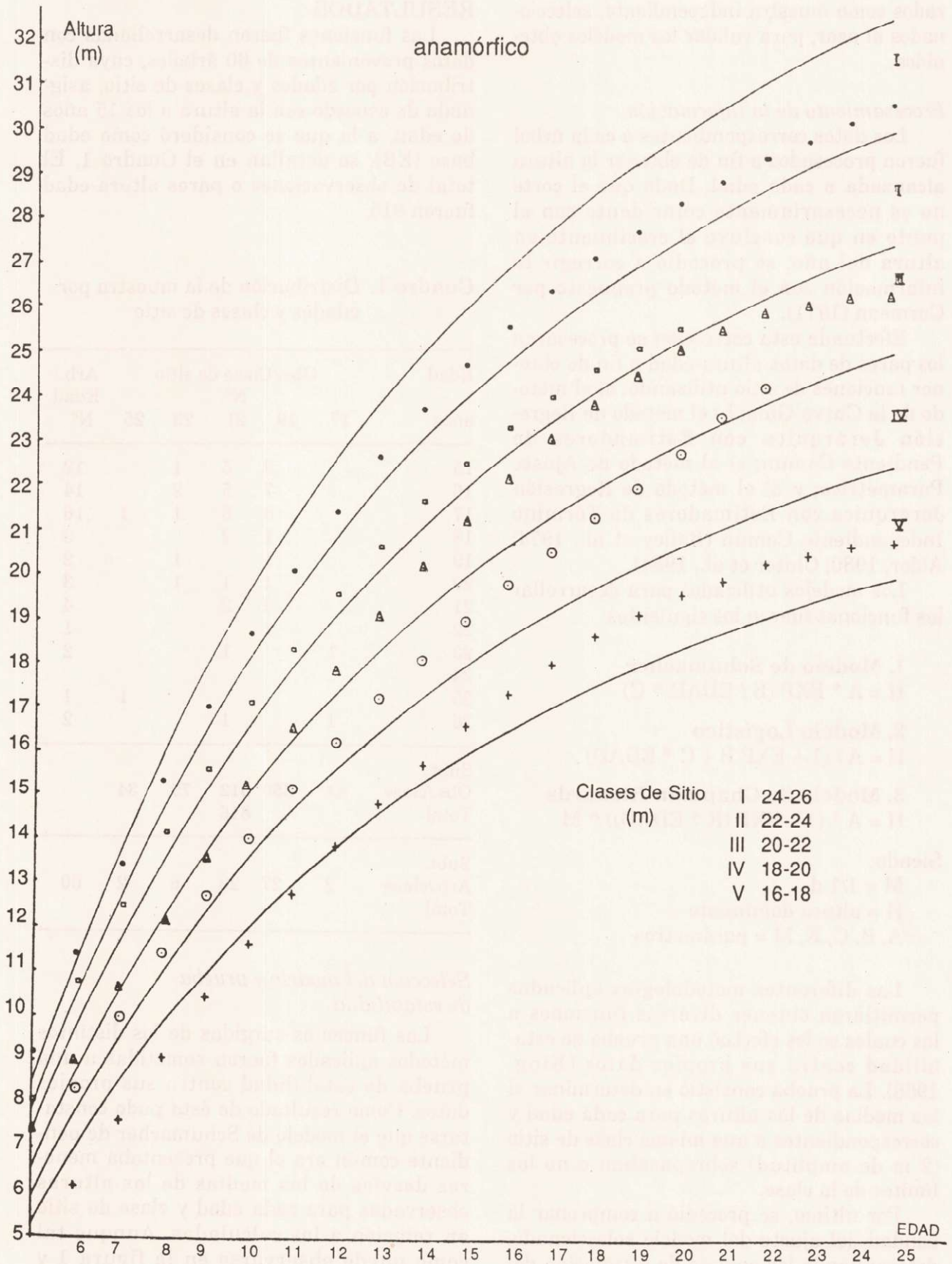


Figura 1. Alturas promedio actuales relacionadas a la edad, graficadas dentro de los límites de sus respectivas curvas de clases de sitio.



V). También se observa en algunos casos un comportamiento no satisfactorio a edades mayores. Una característica común, en general concurrente con este hecho, es la menor cantidad de observaciones efectuadas a las edades en que se produce esta falta de estabilidad, excepto para la clase de sitio III a edades bajas (Cuadro 1).

La función de Schumacher con pendiente común (Alder, 1980), tomó la siguiente forma:

$$\text{Ln (IS)} = \text{Ln (H)} + 8,34524 (1/E - 1/15)$$

*Determinación del error de estimación del índice de sitio*

A fin de poder efectuar un mejor análisis del modelo de pendiente común se procedió a verificar el comportamiento del mismo contra una muestra independiente constituida por el análisis fustal de 14 árboles (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Distribución de la muestra independiente por edades y clase de sitio.

Edad años	Obs./Clase de sitio N°				Arb./edad N°
	17	19	21	23	
15		1	2		3
16		2	1	1	4
17		2	1		3
18		1	1		2
19					
20	1		1		2
Subt. Obs./clase	16	74	76	12	
Total			178		
Subt. Arb./clase	1	6	6	1	14

Mediante el empleo de ésta se procedió a determinar la distribución porcentual de observaciones según clases de errores de estimación del IS (Cuadro 3), el error absoluto promedio de estimación en función de la edad (Cuadro 4 y Fig. 2) y en función del sitio (Fig. 3).

Del Cuadro 3 surge que en el 79% de las observaciones el error de estimación del

IS mediante el empleo del modelo de pendiente común fue inferior a 1 metro. Observamos por otra parte en el Cuadro 4 y en la Figura 2 que los errores promedio absolutos de estimación del Índice de Sitio fueron inferiores al metro, siendo mayores en la medida que se acerca a la edad base (15 años), para posteriormente volver a incrementar aunque no al ritmo que existe en el sentido inverso. Pudo comprobarse también que existe una tendencia a sobreestimar el Índice de Sitio hasta los 16 años para subestimarlos posteriormente.

**Cuadro 3.** Distribución porcentual de observaciones según clases de error de estimación del IS.

Diferencias Absolutas entre el IS Real y el Estimado (M)	Distribución Porcentual	
	Parcial	Acumulado
0,00-0,50	50,91	50,91
0,50-1,00	27,88	78,79
1,00-1,50	10,91	89,79
1,50-2,00	7,27	96,96
2,00-2,50	2,42	99,38
2,50-3,00	0,61	100,00

**Cuadro 4.** Error medio absoluto de estimación del IS en función de la edad.

Edad años	Error prom. absoluto m	Edad años	Error prom. absoluto m
5	0,88	13	0,53
6	0,92	14	0,34
7	0,80	16	0,27
8	0,85	17	0,35
9	0,76	18	0,47
10	0,67	19	0,36
11	0,71	20	0,54
12	0,56		

En relación al análisis de la distribución de errores en función del sitio se observó una tendencia a la sobreestimación del Índice de Sitio en las clases de sitio superiores hasta la clase III (20-22 m), en el resto no existe una tendencia marcada (Fig. 3).

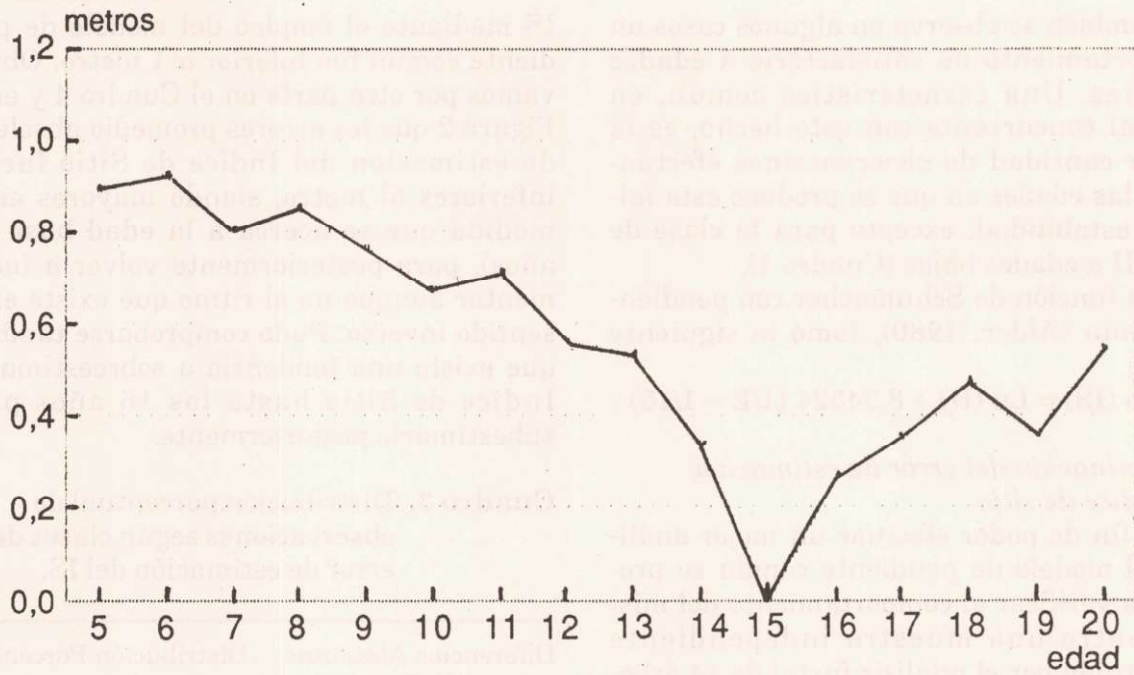


Figura 2. Errores medios absolutos de estimación del índice de sitio.

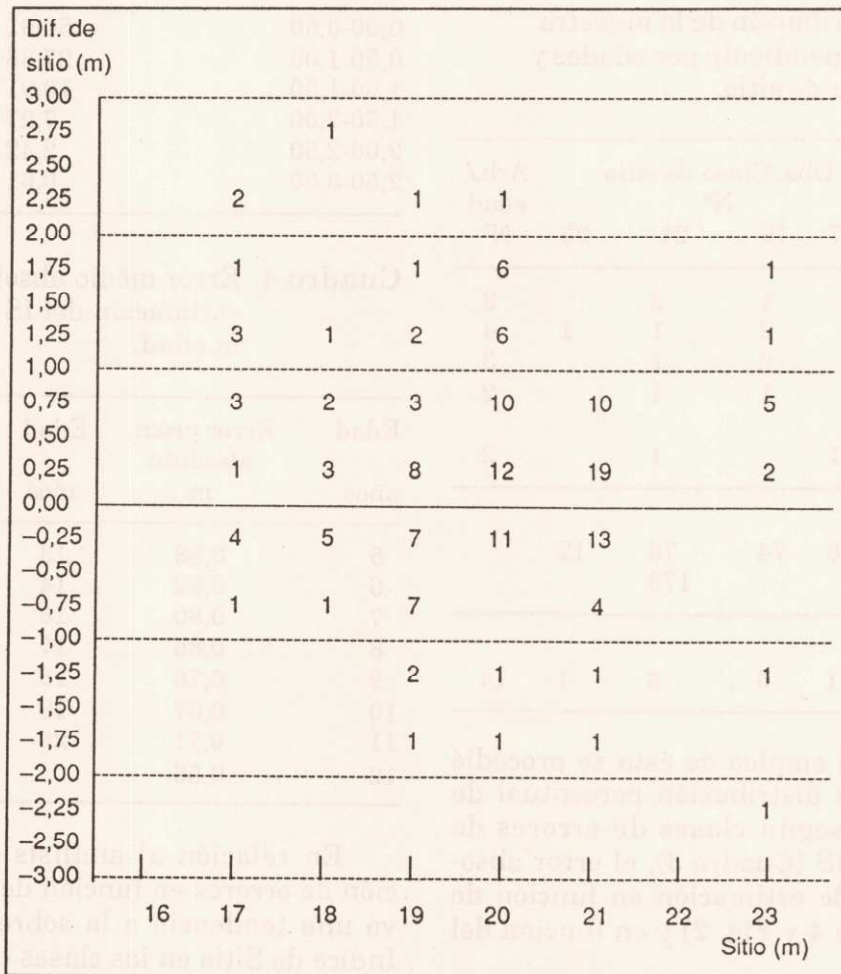


Figura 3. Distribución de los errores de estimación del índice de sitio.



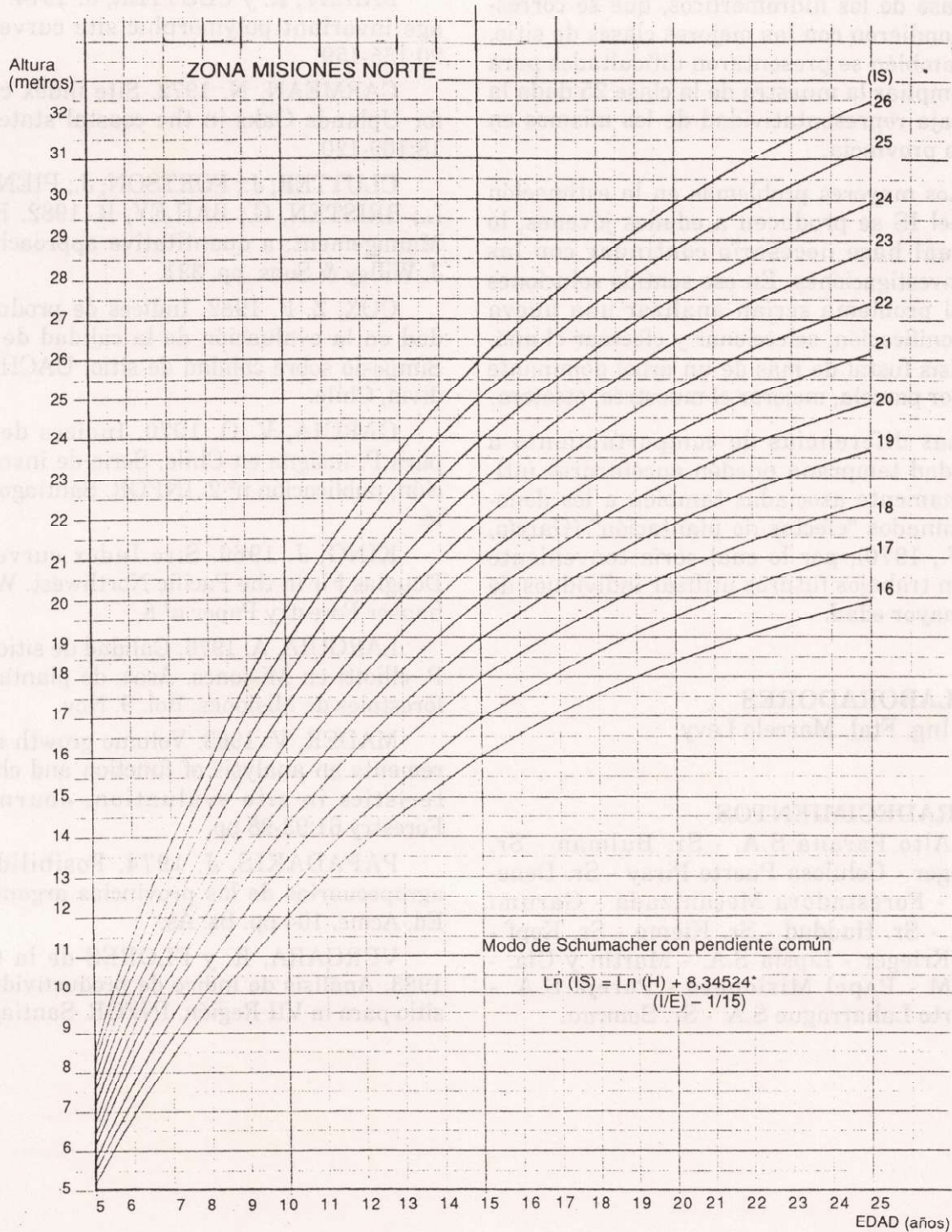
**CONCLUSIONES**

- Entre las distintas alternativas de ajuste probadas para obtener una función de sitio, aquella que brindó mejores resultados fue el modelo de Schmacher de pendiente común.
- La función seleccionada adoptó los siguientes valores (Fig. 4):

$$\ln (IS) = \ln (H) + 8,34524 * (1/E - 1/16)$$

IS = Índice de Sitio  
 H = Altura dominante  
 E = Edad

- El modelo de pendiente común es posible que presente un mejor ajuste debido a que permite eliminar problemas de des-



**Figura 4.** Curvas de índice de sitio para *Pinus elliotti* Engelm. Zona Misiones Norte.



balance en el muestreo de clases de sitio (Alder, 1980). La clase de sitio 17 se corresponde con suelos donde la roca madre es casi superficial y resultó sumamente difícil obtener mayor cantidad de árboles debido a que prácticamente esos suelos no se utilizaron para forestaciones una vez conocidas sus limitantes. En el caso de los hidromórficos, que se correspondieron con las mejores clases de sitio, también se presentaron dificultades para ampliar la muestra de la clase 25 dada la baja representatividad de los mismos en la provincia.

- Los mayores problemas en la estimación del IS se producen a edades jóvenes, lo cual hace necesario continuar con las investigaciones. En ese sentido soluciones al problema serían analizar una nueva zonificación, seleccionar y efectuar el análisis fustal de más de un árbol dominante por parcela, mejorar el muestreo, etcétera.
- Las diferencias de comportamiento a edad temprana pueden encontrarse íntimamente asociadas también a los denominados "efectos de plantación" (García, V., 1970), por lo cual sería conveniente en trabajos futuros utilizar individuos de mayor edad.

#### COLABORADORES

Ing. Ftal. Marcelo Levy.

#### AGRADECIMIENTOS

Alto Paraná S.A. - Sr. Bulman - Sr. Bongler - Celulosa Puerto Piray - Sr. Denecker - Forestadora Mecanizada - Garumí S.A. - Sr. Haddad - Sr. Kiemp - Sr. Kopf - Sr. Krieger - Lipsia S.A. - Martín y Cía. - MBM - Papel Misionero - Parejá S.A. - Puerto Laharrague S.A. - Sr. Somrau.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALDER, D. 1960. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. FAO-Montes 22/2. 39-60. Roma.
- ASSMAN, E. 1970. The principles of forest yield study. Trans. by S. Gardner. Pergamon Press, Oxford. New York. 506 p.
- BAILEY, R. y CLUTTER, J. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. FS 20:155-159.
- CARMEAN, N. 1972. Site index curves for Uplands Oaks in the coastal states. FS 18:109-120.
- CLUTTER, J.; FORTSON, J.; PIENAAR, L.; BRISTEN, G.; BAILEY, R. 1982. Forest Management: a quantitative approach. Ed. J. Willey & Sons. pp. 331.
- COX, Z. F. 1982. Indices de productividad en la evaluación de la calidad de sitio. Simposio sobre calidad de sitio. UACH. Valdivia, Chile.
- GARCIA, V. O. 1970. Indices de sitio para *P. insignis* en Chile. Serie de investigación, publicación n° 2. INFOR. Santiago, Chile.
- KING, J. 1966. Site Index curves for Douglas Fir in the Pacific Northwest. Weyerhaeuser Forestry Paper n° 8.
- LARGUIA, A. 1976. Calidad de sitio para *P. elliotti* en Misiones. Asoc. de plantadores forestales de Misiones. Bol. 9. Nov.
- MADER, V. 1963. Volume growth measurements an analysis of function and characteristics in site evaluation. Journal of Forestry 61:93-98 pp.
- PAPADAKIS, J. 1974. Posibilidades agropecuarias de las provincias argentinas. Ed. Acme. 104 pp. Bs. As.
- VERGARA, R. y FLORES de la C., J. 1983. Análisis de índice de productividad de sitio para la VII Región. INFOR. Santiago.