

Desarrollo de funciones de índice de sitio para *Eucalyptus grandis* cultivado en la Mesopotamia argentina

CRECHI, E.H.¹; FASSOLA, H.E.; KELLER, A.E.¹; BARTH, S.R.¹

RESUMEN

Se desarrollaron modelos para la estimación del índice de sitio para *Eucalyptus grandis* implantado en la Mesopotamia argentina. Dicha estimación se llevó a cabo a través de la evaluación de una base general de datos que contó con 106 parcelas (439 mediciones), de las cuales 48 (197 mediciones) pertenecían a la zona Misiones-NE Corrientes y 58 (242 mediciones) a la zona Concordia-Monte Caseros (NE Entre Ríos-SE Corrientes). Analizadas las curvas promedio de evolución de la altura dominante con la edad de las dos regiones agroecológicas consideradas, se observó que sus pendientes diferían por lo que se ajustaron funciones de sitio para cada una de ellas. Fueron empleados tres métodos tradicionales, curva guía, reparametrización y ecuaciones diferenciales. El procedimiento elegido dependió de la calidad de información disponible en las zonas agroecológicas bajo estudio, aunque se priorizó que cumplieran con algunos criterios deseables para las funciones de sitio como el polimorfismo y que las alturas sean invariantes respecto de la edad índice, entre otros criterios, como también la de estabilidad frente a sus propios datos. Para la zona agroecológica Misiones-NE Corrientes se lograron buenos ajustes con el método de la curva Guía, mientras que para la zona Concordia-Monte Caseros se optó por el modelo de Schumacher ajustado mediante el método de aproximación algebraica diferencial (ADA).

Palabras claves: Calidad de estación, método algebraico diferencial, manejo forestal, *Eucalyptus grandis*, Argentina.

ABSTRACT

Equations for the prediction of site index of *Eucalyptus grandis* planted in the Mesopotamia region of Argentina, were developed. With this purpose a data base with 106 plots (439 pairs age-hdom) was used; of it 48 (197 pairs age-hdom) belongs to Misiones-NE Corrientes agro ecological zone and the other 58 plots (242 pairs age-hdom) belongs to the zone Concordia-Monte Caseros (SE Corrientes – NE Entre Ríos). Analyzed the evolution of the relationship between age-hdom of both zones it was determined that the slopes of the models for each zone were different, so a site index function for each zone were fitted. Three traditional methods for fitting site index curves were applied, the guide curve method, the parametrized prediction methods and the algebraic difference approach (ADA). The quality of the available data base for each zone influenced the choice of the method and also that the final model follows some criteria, like polymorphism, base-age invariant and the stability of the model against its proper data base. For the agro ecologic zone Misiones-NE Corrientes it was obtained a good fit with the guide curve method. For Concordia-Monte Caseros region it was selected a site index functions based on Schumacher model fitted with the algebraic difference approach (ADA) method.

Keywords: site index, algebraic difference approach, forest management, *Eucalyptus grandis*, Argentina.

1 Ings. Ftales. Técnicos Área Forestal. INTA EEA Montecarlo. Av. El Libertador n° 2472. C. P. 3384. Montecarlo, Misiones, Argentina. TE y FAX: 54-03751-480057/480512. e-mail: ecrechi@montecarlo.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Debido a factores económicos y de mercado, se hace necesario conocer el potencial productivo de los diferentes sitios para *Eucalyptus grandis*. Esta potencialidad, expresada en producción de madera, en un tiempo dado, ha sido definida como calidad de sitio (Clutter *et al.*, 1983). El Índice de Sitio (IS), definido como la altura dominante promedio de un rodal a una edad base o edad índice (Ei), es el método más utilizado para clasificación de sitios.

Como antecedente local en el ajuste de modelos para la determinación de la calidad de sitio para *E. grandis*, se pueden mencionar las curvas de índice de sitio ajustadas por Glade (1999) mediante el método de la curva guía (Clutter *et al.*, 1983) con datos provenientes del NE de Entre Ríos y SE de Corrientes, más algunos del Centro y NE de Corrientes siendo estas de tipo anamórfico.

En contraste con los modelos anamórficos, tanto el modelo reparametrizado (Clutter *et al.*, 1983; Vergara y Flores, 1983), como el obtenido por el método ADA (Algebraic Difference Approach), satisfacen mayor cantidad de criterios biológicos, como los citados por Carvalho y Parresol (2005), que son tener un punto cero, ser incrementales, ser asintóticos al eje de la edad y poseer un punto de inflexión, además de cumplir también con otros criterios que establecen Goelz y Burk (1992) y Adame Hernando *et al.* (2004), como el polimorfismo y que las alturas sean invariantes respecto de la edad índice (este último criterio exclusivo del método ADA y sus transformaciones posteriores).

Hasta el momento en la región no se han registrado antecedentes de que se hayan empleado los métodos de predicción parametrizados (Clutter *et al.*, 1983), como tampoco los métodos de ecuaciones diferenciales (Clutter *et al.*, 1983).

Dado que la principal zona de cultivo de *Eucalyptus grandis* comprende distintas zonas y subzonas agroecológicas (Papadakis, 1974), algunas de clima templado (Concordia-Monte Caseros) y otras de clima subtropical que abarcan Misiones-NE Corrientes, es factible que los patrones de evolución de la altura dominante difieran y se requiera el desarrollo de funciones de sitio específicas para cada región. Por esta razón en el presente trabajo, con datos procedentes de parcelas ubicadas en las dos zonas agroecológicas mencionadas, en la faja de suelos correspondientes a las terrazas del Río Uruguay (la primera) y en

la de suelos rojos profundos (la segunda), se ajustaron funciones de sitio para cada una de ellas mediante los tres métodos mencionados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La base de datos con la que se trabajó contó con información proveniente de parcelas permanentes de las zonas agroecológicas Concordia-Monte Caseros así como permanentes y temporarias de Misiones-NE Corrientes (Papadakis, 1974). Los datos fueron aportados por Papelera Sarandí, Inventario Forestal de la Provincia de Misiones (Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables), INTA EEA Montecarlo, Forestal Las Acequias, Tapebicué, IFONA (Mutarelli, 1977) e INTA EEA Concordia. La base general de datos contó con 439 observaciones de pares altura dominante – edad (Hdom-edad), de las cuales 197 correspondían a Misiones-NE Corrientes (184 mediciones de parcelas permanentes y 13 de parcelas temporarias incluidas por razones de representatividad de sitios y computadas sólo en el desarrollo de curvas anamórficas) y 242 a Concordia-Monte Caseros. En la tabla 1 se pueden observar los valores de algunas variables de estado de rodal de la muestra total.

En las figuras 1 y 2, se observa la distribución de las muestras para las regiones Misiones-NE Corrientes y Concordia-Monte Caseros.

Comparación de pendientes de modelos ajustados para las zonas agroecológicas bajo estudio.

Mediante un análisis de comparación de pendientes de funciones que describían la evolución promedio de Hdom en relación a la inversa de la edad (Modelo de Schumacher) para las zonas agro ecológicas consideradas, se determinó si se estaba o no ante la presencia de zonas homogéneas (García, 1970).

Ajuste de funciones de sitio

La altura media de los árboles dominantes de cada parcela fue obtenida mediante la utilización del Sistema de Procesamiento de Datos de Parcelas Experimentales e Inventario (Keck *et al.*, 2005).

	DAP (cm)	Hdom (m)	H (m)	E (años)
Mínimo	3	4,6	3,8	1
Máximo	48	60,4	49	28
Promedio	23	27	25	10

Donde: DAP: diámetro medio a la altura de pecho; Hdom: altura dominante (altura media de los 100 árboles de mayor diámetro por hectárea); H: altura promedio; E: edad.

Tabla 1. Valores de las variables de estado de la base de datos de *Eucalyptus grandis* en la Mesopotamia argentina.

A partir de pares de datos Hdom–edad, empleando el método de la curva Guía (Prodan *et al.*, 1997), se ajustaron los diferentes modelos presentados en la tabla 2 (Davis y Johnson, 1987; Prodan *et al.*, 1997; Friedl *et al.*, 1999; Kiviste *et al.*, 2002).

Los modelos fueron ajustados por técnicas de regresión no lineal empleando el sistema InfoStat (Grupo InfoStat, 2003), siendo el criterio de evaluación del desempeño de los mismos, los estadísticos error estándar de la estimación (Syx), (Huang *et al.*, 1992); error cuadrático medio (ECM), coeficiente de determinación (R²) y análisis de tendenciosidad de la distribución de residuos, así como también su comportamiento al considerar aspectos biológicos del crecimiento de masas arbóreas (es decir, poseer origen en

cerro, punto de inflexión, punto de tangencia máximo y asíntota horizontal). Seleccionados los mejores modelos se procedió a reordenar la expresión a los fines de estimar el índice de sitio generando para ello una familia de curvas anamórficas.

Mediante métodos de reparametrización se ajustaron modelos polimórficos (Clutter *et al.*, 1983; Vergara y Flores, 1983) empleando la función de Chapman-Richards.

Con el método ADA (Carvalho y Parresol, 2005) se empleó el modelo de Schumacher (ecuación 14), ajustándose el modelo de término independiente común a los fines de obtener modelos de edad base invariante (Alder, 1980).

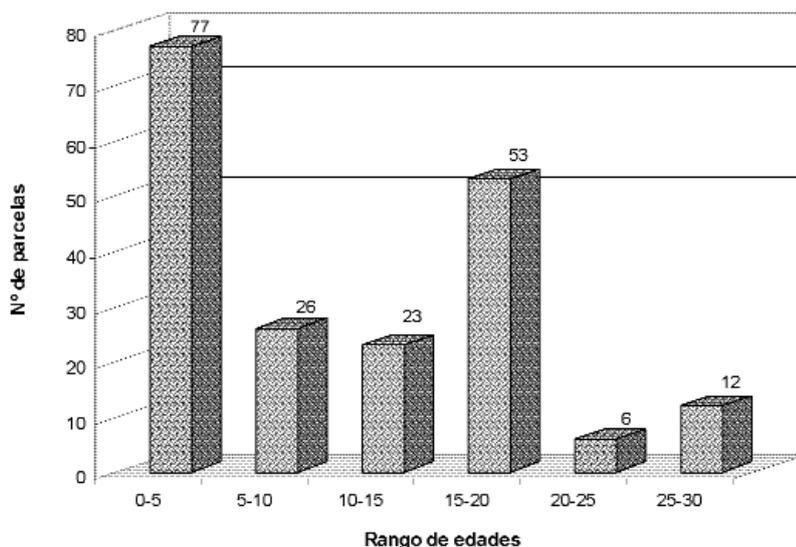


Figura 1. Distribución de parcelas de *Eucalyptus grandis* por clase de edad para Misiones-NE Corrientes.

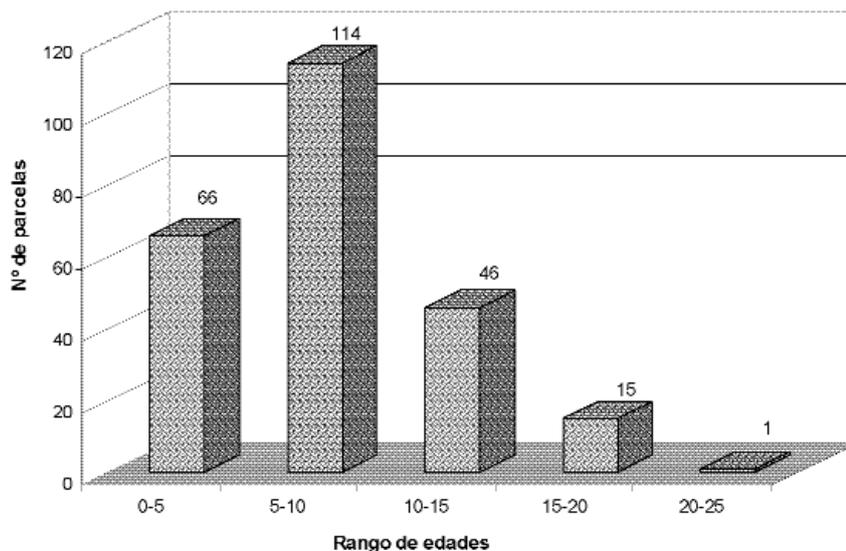


Figura 2. Distribución de parcelas de *Eucalyptus grandis* por clase de edad, zona Concordia-Monte Caseros.

Modelo/ecuación	Autor/denominación	Expresión
1	Moiseev I	$H_{dom} = b_0 + b_1 \ln(E) + b_2 (\ln(E))^2$
2	Levakovic I modificado	$H_{dom} = b_0 * ((E^{b_1}) / (b_2 + E^{b_3}))^{b_4}$
3	Levakovic I	$H_{dom} = b_0 * ((E^{b_2}) / (b_1 + E^{b_2}))^{b_3}$
4	Curtis et al	$H_{dom} = E^2 / (b_0 + b_1 * E + b_2 * E^2)$
5	Hossfeld III	$H_{dom} = E / (b_0 + b_1 \ln(E) + b_2 * E)$
6	Levakovic II	$H_{dom} = b_0 * (E / (b_1 + E))^{b_2}$
7	Weibull	$H_{dom} = b_0 * (1 - \exp(-b_1 * E^{b_2}))$
8	Curtis	$H_{dom} = E^2 / (b_0 + b_1 * E + b_2 * E^2)$
9	Chapman - Richards	$H_{dom} = b_0 * (1 - \exp(-b_1 * E))^{b_2}$
10	Gram	$H_{dom} = \exp(b_0 + b_1 \ln(E) - b_2 * E)$
11	Ratkowski	$H_{dom} = b_0 * \exp(b_1 / (E + b_2))$
12	Bertalanffy	$H_{dom} = b_0 * (1 - \exp(b_1 - b_2 * E))^{b_3}$
13	Monomolecular	$H_{dom} = b_0 * (1 - \exp(-b_1 * (E)))$

Donde: b0, b1, b2, b3 y b4: Coeficientes de la función; ln: logaritmo natural

Tabla 2. Modelos evaluados para establecer la relación Hdom-edad para *Eucalyptus grandis* en la Mesopotamia argentina.

ecuación (14)

$$\ln H_{dom} = \ln a + \frac{b}{E^k}$$

Donde:

- H dom: Altura dominante en metros
- a; b; K: parámetros a ser ajustados
- E: Edad en años
- ln: logaritmo natural

En todos los casos la edad base (Ei) adoptada fue de 15 años apuntando a turnos que permitan la producción de madera gruesa para usos sólidos.

Con el fin de validar los modelos ajustados se efectuó una prueba de estabilidad contra sus propios datos (King, 1966). Se compararon datos medios de altura dominante observada en parcelas permanentes a lo largo de las curvas que expresan las clases de sitio, conforme al procedi-

miento desarrollado por King en 1966 y empleado por Fassola y Wabo (1993) y Glade (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de zonas homogéneas

Dada la existencia de diferencias significativas entre pendientes de los modelos lineales ajustados para estimar la Hdom en función de la inversa de la edad, para cada zona agroecológica (tabla 3, figura 3), surgió la necesidad de ajustar funciones de sitio para cada una de ellas.

Ajuste de modelos para la región agroecológica Misiones-NE Corrientes.

Dado que la base de datos correspondiente a esta zona presentó faltantes de algunas clases de edades intermedias, como también de un grupo importante de parcelas

	Suma de cuadros	F	Valor P
(1 / Edad)	95,1569	2689,96	0
Interceptos	3,73781	105,66	0
Pendientes	0,846277	23,92	0
Modelo	99,741		

Tabla 3. Estadísticos de la comparación de pendientes para *Eucalyptus grandis* de las funciones (Hdom=b0+b1*(1/E)) generadas para las zonas Misiones-NE Corrientes y Concordia-Monte Caseros.

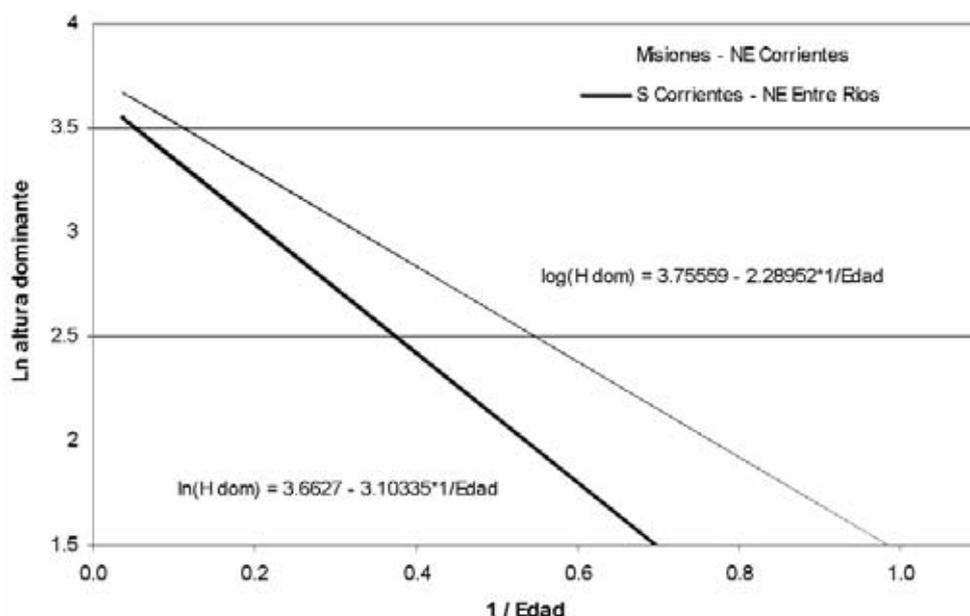


Figura 3. Evolución estimada para *Eucalyptus grandis* de Hdom en función de la inversa de la edad (1/E).

permanentes que sólo llegaban hasta los 6 años de edad, la posibilidad de ajustar por el método de reparametrización para esta zona fue desechada.

Método de la curva Guía

Efectuado el ajuste de los pares de datos Hdom-edad mediante el método de la curva Guía empleando distintos modelos, mediante los estadísticos obtenidos fue factible elaborar un ranking según la capacidad predictiva de la al-

tura dominante frente a la observada en la zona bajo estudio (tabla 4).

De acuerdo con los valores obtenidos en los distintos estadísticos (tabla 4), se preseleccionó el modelo Moiseev I, pero al analizar gráficamente la distribución de los residuos de todos los modelos, también se preseleccionó Chapman-Richards. Sin embargo, luego de evaluar ambos modelos se optó por este último. La decisión se basó en que, si bien Moiseev I presentó estadísticamente una leve

Autor/denominación	R ²	Syx	ECM
Moiseev I	98,269	1,939	6,223
Levakovic I modificado	98,29	1,724	6,303
Levakovic I	98,243	1,959	6,518
Curtis et al	97,691	2,24	6,673
Hossfeld III	98,153	2,003	6,748
Levakovic II	98,147	1,825	6,807
Weibull	98,062	2,052	6,845
Curtis	98,145	2,008	6,961
Chapman - Richards	98,021	2,074	6,963
Gram	97,94	2,116	7
Ratkowski	98,015	1,885	7,382
Bertalanffy	97,867	2,158	7,661
Monomolecular	97,761	2,2	8,195

Tabla 4. Estadísticos de las expresiones de la curva guía para *Eucalyptus grandis* según los distintos modelos empleados y ordenados en función al error cuadrático medio.

superioridad, este no posee ciertas premisas biológicas, como pasar por el origen y poseer asíntota horizontal (Kiviste *et al.*, 2002).

La expresión matemática del modelo de altura dominante seleccionado fue la siguiente:

$$H_{dom} = 54.1647 * (1 - \exp(-0.0793285 * E))^{0.799597}$$

(Chapman-Richards)

Con el fin de estimar alturas dominantes a diferentes edades para un índice de sitio determinado, se reemplazaron términos y se reordenó el modelo seleccionado, tomándose como edad base 15 años, resultando en:

$$H_{dom} = IS * ((1 - \exp(b1 * E))^{b2} / (1 - \exp(b1 * E))^{b2})$$

$$H_{dom} = IS * ((1 - \exp(-0.0793285 * E))^{0.799597} / (1 - \exp(-0.0793285 * E_i))^{0.799597})$$

Donde:

Ei = Edad índice o edad base

IS = Índice de sitio

En base a la amplitud de los datos a la edad índice y mediante el empleo de las funciones de sitio, se procedió a desarrollar las curvas de índice de sitio (Alder, 1980), de donde surgió un sistema de curvas anamórficas (Hugell, 1991). Se consideró una equidistancia entre curvas de 4 m a la edad base, definiendo de esta manera tres calidades o clases de sitios, alta (I), media (II) y baja (III). Reordenando los términos, la función precedente puede ser empleada para calcular índice de sitio en caso de disponer de datos Hdom-edad.

$$IS = H_{dom} * ((1 - \exp(-0.0793285 * E_i))^{0.799597} / (1 - \exp(-0.0793285 * E))^{0.799597})$$

En la figura 4 se observan las curvas de índice de sitio y los pares Hdom-edad de las parcelas permanentes disponibles, pudiéndose corroborar la estabilidad de los datos observados, ya que las alturas dominantes medias permanecen en la misma clase de sitio durante toda la vida del rodal.

Método ADA

En la tabla 5 se presentan a continuación los coeficientes calculados para el modelo de Schumacher de término independiente común: de acuerdo con Bailey y Clutter (1974) y Alder (1980).

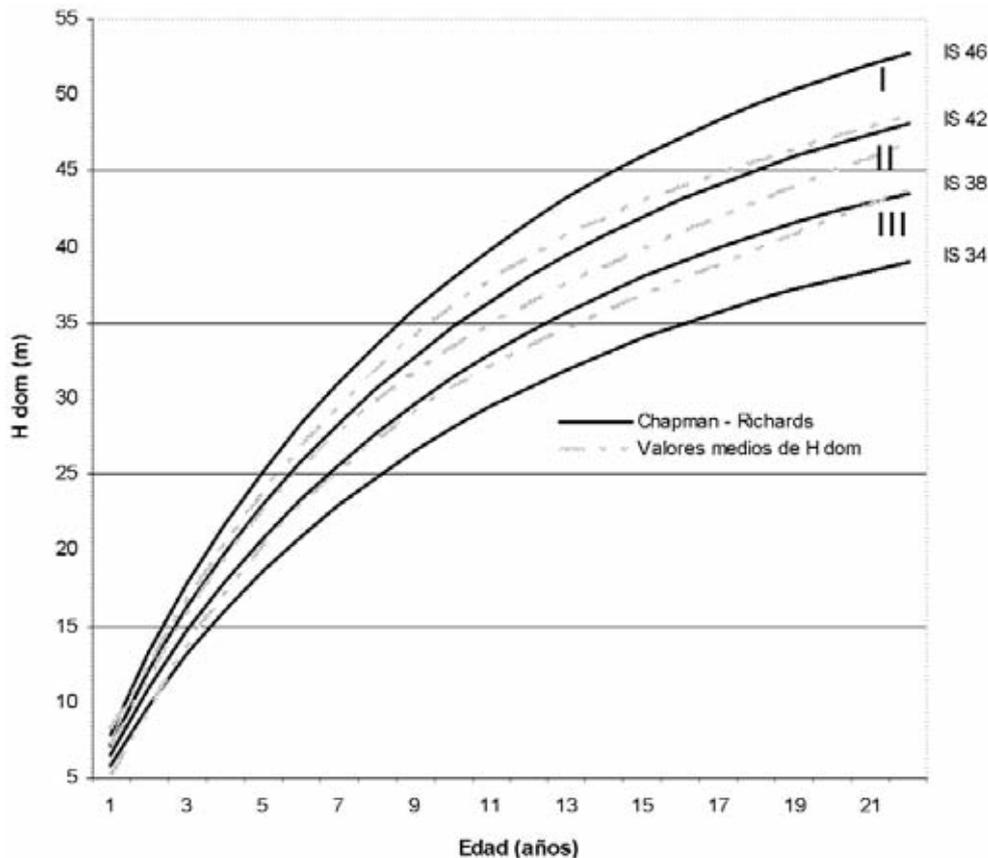


Figura 4. Curvas de índice de sitio para *Eucalyptus grandis* obtenido en base al modelo de Chapman-Richards ajustado mediante el método anamórfico para la zona Misiones-NE Corrientes.

Coefficiente	valor
a	5,24
k	0,3402
Ei	15

Donde: a: término independiente común (Hmax); Ei= edad base

Tabla 5. Método ADA. Coeficientes del modelo de IS de término independiente común para *Eucalyptus grandis* para la zona Misiones-NE Corrientes

Reemplazando los mismos en la ecuación 14, la función que describe la evolución de la altura con la edad resultó ser:

ecuación (15)

$$\ln H_{dom} = 5,24 + \frac{b_s}{E^{0,3402}}$$

Dado que la pendiente (b_s) de la función constituye el parámetro local, el cual depende del índice de sitio, se fija la

edad base en la ecuación 15 y se calcula para cada IS con la siguiente función:

$$b_s = \ln(\ln IS - 5,24) * 15^{0,3402}$$

Con el cual es posible, reordenando los términos de la función de Hdom, obtener la expresión de índice de sitio:

$$\ln IS = 5,24 + \frac{b_s}{15^{0,3402}}$$

Para calcular el IS de un rodal, dada su edad y altura dominante, se usa:

$$\ln (IS) = 5,24 + ((\ln H_{dom} - 5,24) * (\frac{Edad}{Edad \text{ índice}})^{0,3402})$$

Cuya fórmula de trabajo es:

$$IS = \exp (5,24 + ((\ln H_{dom} - 5,24) * (\frac{Edad}{Edad \text{ índice}})^{0,3402}))$$

Expresadas en forma gráfica las clases de sitios I, II, III, se observa que el patrón de la función no es totalmente coincidente con el de la evolución de los valores medios Hdom-edad observados, principalmente a edades jóvenes (figura 5).

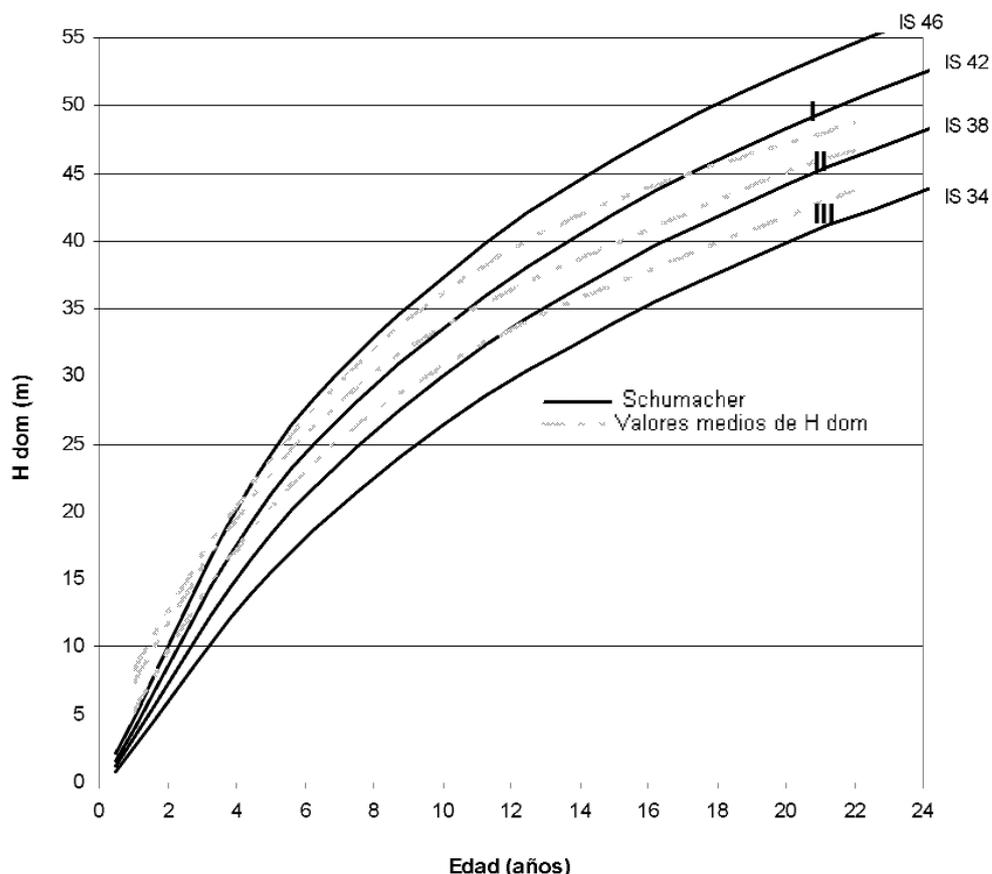


Figura 5. Clases de índice sitio para *Eucalyptus grandis* ajustadas a través del modelo de Schumacher (método ADA) para la zona Misiones-NE Corrientes.

Comparación entre los modelos ajustados por el método de la curva Guía y el método ADA para la zona agroecológica Misiones-NE de Corrientes

Como resultado de las tendencias observadas de los valores medios de altura dominante, ajustados por el método de la curva Guía y por el método ADA, surgió que el primer método describió mejor el patrón de crecimiento de los valores promedios de Hdom-edad, aún a edades jóvenes, lo que es de suma importancia cuando se trabaja con turnos cortos.

Si bien el método ADA satisface mayor cantidad de criterios biológicos (Carvalho y Parresol, 2005) y principios que se consideran deseables en una función de sitio (Goelz y Burk, 1992; Adame Hernando *et al.*, 2004), estas cualidades no pudieron ser puestas de manifiesto, ya que la base de datos no contó con un número suficiente de pares Hdom-edad, tal como fuera revelado anteriormente para esta región agroecológica.

Ajuste de funciones de sitio para la región agroecológica Concordia-Monte Caseros

Método de reparametrización

Si bien la función de sitio ajustada por Glade (1999), citada como antecedente en el presente trabajo, cuenta con una amplia base de datos, el disponer de información proveniente de mediciones de parcelas permanentes de la zona Concordia-Monte Caseros, hizo posible el ajuste para dicha región de funciones de sitio polimórficas.

Para el ajuste de las mismas se empleó el modelo de Chapman-Richards para describir el comportamiento Hdom-edad por sitio, tal lo expuesto por Vergara y Flores (1983).

En la tabla 6 se observan los coeficientes de la función de Chapman-Richards ajustada para cada clase de sitio, límite superior e inferior, así como también su correspondiente estadístico R².

Posteriormente se reparametrizó la función original (Clutter *et al.*, 1983) empleándose para ello la expresión lineal $a=b+c*IS$ resultando:

$$b1=0,269589+0,00466418*IS$$

$$b2=1,66544-0,02101*IS$$

La familia de curvas Hdom-edad a partir de allí obtenida asumió la expresión:

$$Hdom= IS*((1-EXP(-(0,29589+0,00466418*IS)*Edad))/(1-EXP(-(0,269589+0,00466418*IS)*Ei)))^(1,66544-0,02101*IS)$$

El modelo fue confrontado contra sus propios datos, mostrando un comportamiento coherente con el patrón de crecimiento observado (figura 6).

Método ADA

Los coeficientes del modelo de Schumacher de término independiente común resultantes fueron los siguientes (tabla 7).

Reemplazando los mismos en la ecuación 14, la función que describe la evolución de la altura con la edad resultó la siguiente:

$$\ln Hdom=4,8212+\frac{b_s}{E^{0,39}}$$

La pendiente (bs) fue estimada con la siguiente función:

$$b_s=(\ln S-4,8212)*15^{0,39}$$

Reordenando la función de Hdom, se obtuvo la expresión de índice de sitio:

$$\ln LS=4,8212+\frac{b_s}{E^{0,39}}$$

Coeficiente			I S (m)	Clase de sitio	Límites de c/sitio (m)	R ²
b ₀	b ₁	b ₂				
47,413	0,13368	1,01947	42	I	40 – 44	98,782
50,434	0,104983	0,974604	38	II	36 – 39,99	98,965
59,7022	0,038243	0,659175	34	III	32 – 35,99	98,892
41,6751	0,0757018	0,775185	30	IV	28 – 31,99	96,866

Tabla 6. Coeficientes de la función ajustada para *Eucalyptus grandis* por clase de sitio, límite superior e inferior de clase de sitio, estadístico R².

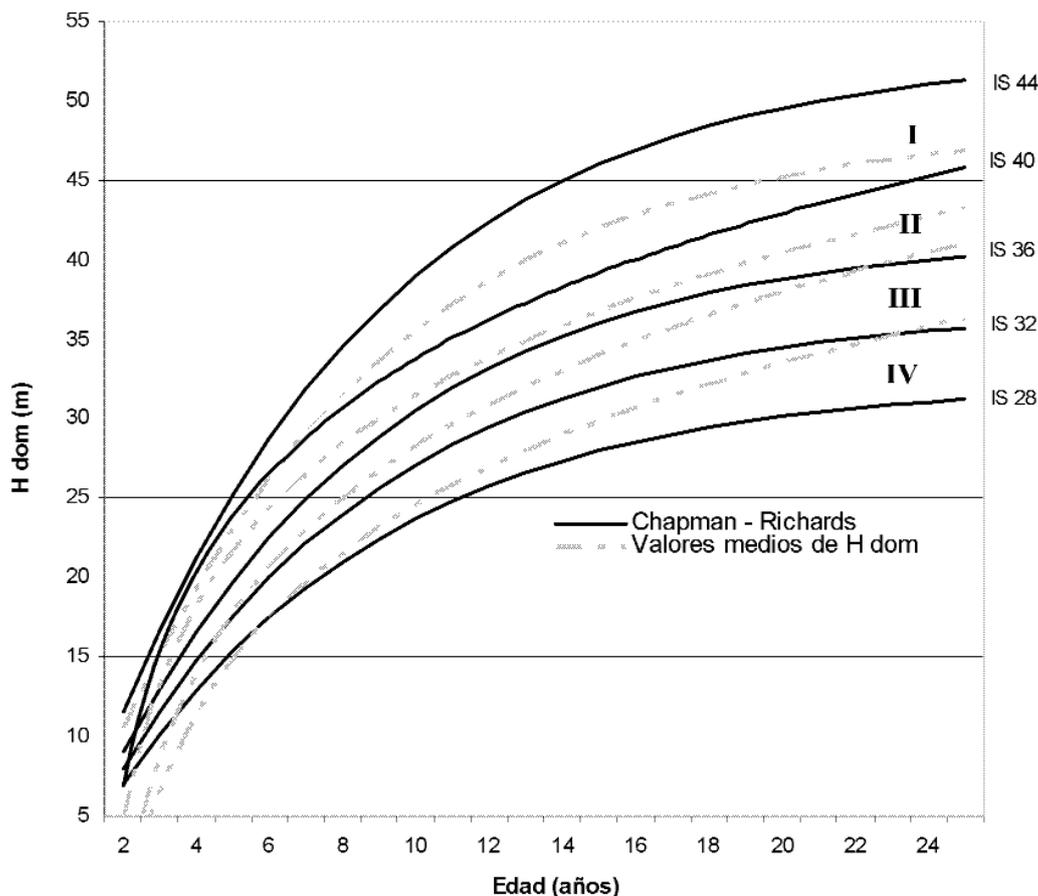


Figura 6. Curvas de índice de sitio para *Eucalyptus grandis* obtenido en base al modelo de Chapman-Richards ajustado mediante el método de reparametrización para la zona agro ecológica Concordia-Monte Caseros.

Coefficiente	valor
a	4,8212
k	0,39
Ei	15

Tabla 7. Método ADA. Coeficientes del modelo de término independiente común para *Eucalyptus grandis* para la zona Concordia Monte Caseros.

Para calcular el IS de un rodal, dada su edad y altura dominante, se usa:

$$\ln (IS)=4,8212+((\ln Hdom-4,8212)*((\frac{Edad}{Edad\ índice})^{0,39}))$$

Cuya fórmula de trabajo es:

$$IS=\exp(4,8212+((\ln Hdom-4,8212)*((\frac{Edad}{Edad\ índice})^{0,39})))$$

El modelo confrontado contra sus propios datos, muestra un comportamiento apropiado con el patrón de crecimiento observado (figura 7).

Comparación entre los modelos ajustados por el método de la curva Guía y el método ADA para la zona agroecológica Concordia-Monte Caseros.

El método ADA exhibió un mejor comportamiento de estabilidad durante todo el desarrollo del rodal, el mismo

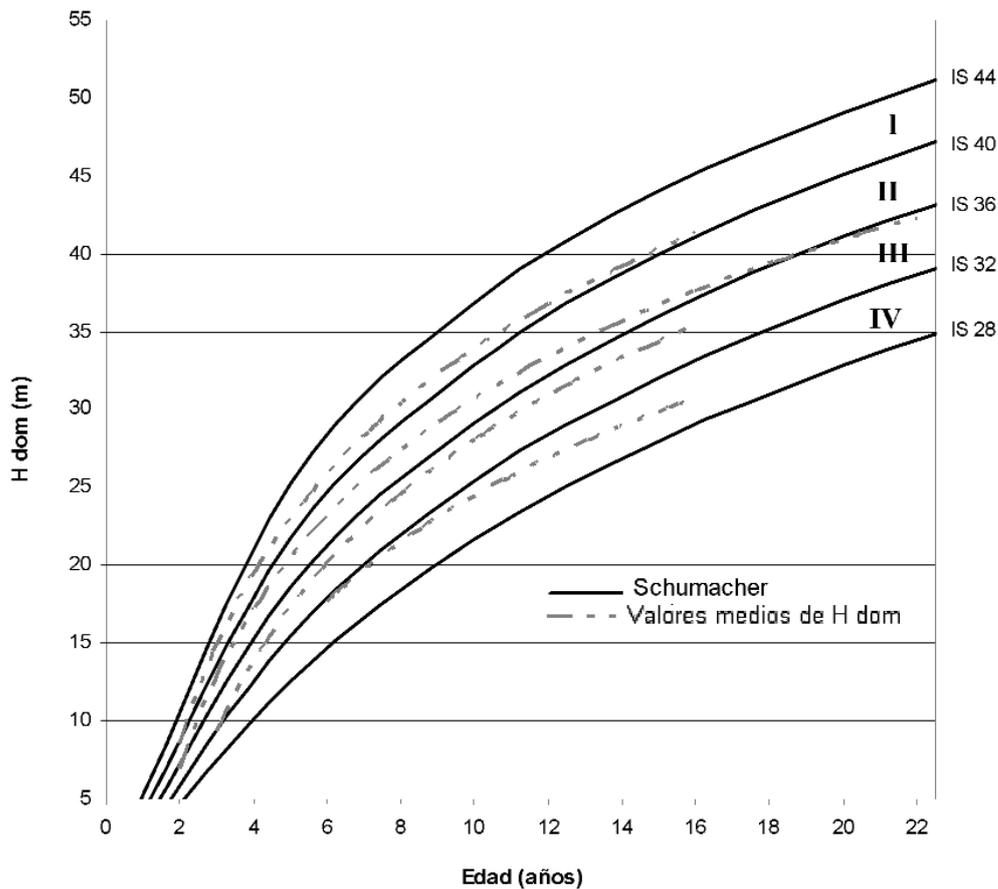


Figura 7. Clases de sitio para *Eucalyptus grandis* obtenido a través del modelo de Schumacher empleando el Método ADA para la región agro ecológica Concordia-Monte Caseros.

quedó comprobado al comparar datos medios de Hdom observados en parcelas permanentes a lo largo de las curvas, permaneciendo estas en la misma clase de sitio para un régimen de corta de 8-12 años (figura 7). Por estas razones fue seleccionado para su empleo.

Balace entre base de datos disponible y modelos-métodos utilizados según zona agroecológica

La selección de la función de mejor desempeño depende tanto del comportamiento de los estadísticos como de las propiedades matemáticas para expresar un determinado hecho biológico, siendo indefectiblemente necesario contar para ello, con una base de datos adecuada (provenientes de la mayor cantidad de sitios y edades posibles) al método de ajuste utilizado.

A ese efecto, para el método de ajuste de la curva Guía es suficiente contar con una base de pares de datos Hdom-

edad provenientes de parcelas temporarias y/o permanentes, mientras que para el método de reparametrización y ecuaciones diferenciales (ADA) es requisito necesario contar con pares de datos Hdom-edad provenientes de parcelas permanentes.

Para la zona agroecológica Misiones-NE Corrientes, al no disponer de datos suficientes Hdom-edad de parcelas permanentes, se incluyeron algunas temporarias por razones de representatividad de sitios y computadas sólo en el desarrollo de curvas anamórficas, por eso, los métodos de reparametrización y ADA no fueron los más adecuados, sí, en cambio, el método de la curva Guía-anamórficas.

Para la zona agroecológica Concordia-Monte Caseros, se contaba con suficientes datos Hdom-edad de parcelas permanentes, motivo por el cual se lograron buenos ajustes con los métodos de reparametrización y ADA de curvas polimórficas.

CONCLUSIONES

La selección de la función de mejor desempeño depende tanto de los estadísticos como de las propiedades matemáticas para expresar un determinado hecho biológico. Las curvas polimórficas describen de mejor manera la evolución del crecimiento de la altura dominante con la edad, en relación a las anamórficas, dada la naturaleza sigmoideal de estos modelos. La base de datos reducida, correspondiente a la zona agroecológica Misiones-NE Corrientes hizo que el ajuste logrado a través del método ADA con el modelo de Schumacher, evidenciara un comportamiento poco estable si bien tiene la ventaja de cumplir con varios requisitos deseables a las funciones de sitio. El modelo de Chapman-Richards ajustado a través del método de la curva Guía presentó buena estabilidad en general, y en particular a edades jóvenes y fue seleccionado para la determinación del índice de sitio de *Eucalyptus grandis* de la zona Misiones-NE Corrientes. Dado el carácter anamórfico de este método y a fin de consolidar el enfoque para esa región, se considera necesario ampliar la base de datos para contar con mayor flexibilidad en la selección de los modelos, a los efectos de conocer la necesidad de proporcionalidad o no de las curvas de índice de sitio.

La base de datos disponible para la zona Concordia-Monte Caseros, permitió el ajuste de enfoques que cumplan con muchos de los requisitos que algunos autores consideran deben contemplar las funciones de sitio: tener un punto cero, ser incrementales, ser asintóticos al eje de la edad y poseer un punto de inflexión, además de cumplir también con otros criterios como el polimorfismo y que las alturas sean invariantes respecto de la edad índice (este último criterio exclusivo del método ADA y sus transformaciones posteriores).

BIBLIOGRAFÍA

- ADAME HERNANDO, P.; MARTÍN, J.C.; MONTERO GONZÁLEZ, G.; DEL RÍO GAZTELURRUTIA, M.; CISNEROS GONZÁLEZ, O.; CAÑELLAS REY DE VIÑAS, I. 2004. Modelo de Calidad de estación para el Monte "Pinar de Navafria" (Segovia). En: Actas de la Reunión de Modelización Forestal. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales N.º 18:123-128
- ALDER, D. 1980. "Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos". Vol 2: predicción del rendimiento. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes. Roma. 118 pp
- BAILEY, R.L.; CLUTTER, J.L. (1974). Base-Age invariant Polymorphic Site Curves. Forest Science 20:155-159.
- CARVALHO, J.P.; PARRESOL, B. R. 2005. A site model for Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica*) stands using a dynamic difference equation. Can. J. For. Res. 35: 93-99.
- CLUTTER, R.L.; FORTOW, J.C.; PIENNAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. N. Y. (USA): J. Wiley. 333 pp.
- DAVIS, S.L.; JOHNSON, K.N. 1987. "Forest Management". Third edition. McGraw-Hill. New York. 730 pp.
- FASSOLA, H.; WABO, E. 1993. Funciones de calidad de sitio para *Pinus elliottii* Engelm en Misiones (Argentina). Revista Yvyrareta N.º 4. Págs. 26 – 34.
- FRIEDL, R.; CRECHI, E.; FASSOLA, H. 1999. Manual de Descripción Técnica del Simulador Forestal de *Pinus taeda* 1.0. INTA EEA Montecarlo. Facultad de Ciencias Forestales - Empresas forestales de Misiones y NE de Corrientes. 15 p.
- GARCÍA, V. O. 1970. Índices de sitio para P. insignis en Chile. Serie de investigación, publicación N.º 2. INFOR. Santiago. Chile.
- GLADE, J. 1999. Curvas de índice de sitio para *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos. PROFOSEC- Proyecto Forestal de Desarrollo. SAGPyA BIRF. INTA EEA-Concordia. www.inta.gov.ar/concordia/info/indices/tematica/cd.../H1.pdf
- GOELZ, J.C.; BURK, T.E. 1992. Development of a well – behaved site index equation: jack pine in north central Ontario. Can. J. For. Res. 22:776 – 784.
- HUANG, S.; TITUS, S.; WIENS, D.P. 1992. Comparison of non-linear height – diameter for major Alberta tree species. Can. J. For. Res. 22:1297-1304
- HUGELL, D. 1991. Modelos de predicción del crecimiento y rendimiento de: *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala*, en América Central. En: Serie Técnica N.º 22. Turrialba (Costa Rica): CATIE. 57 pp.
- INFOSTAT. (2003). InfoStat versión 1.5. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- KECK, A.; CRECHI, E.; FASSOLA, H.; KELLER, A. 2005. INTA EEA Montecarlo. Manual de descripción técnica del Sistema de Procesamiento de Datos de Parcelas Experimentales e Inventario.
- KING, J. 1966. Site Index Curves for Douglas Fir in the Pacific Northwest. Weyer-Hauser Forestry Paper N.º 8.
- KIVISTE, A.; ALVAREZ GONZÁLEZ, J.; ROJO ALBORECA, A.; RUIZ GONZÁLEZ, A. D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. España.
- MUTARELLI, E. 1977. Análisis dasométrico en plantaciones forestales de la zona de Concordia, Provincia de Entre Ríos. IFONA. Folleto Técnico Forestal, 59. Buenos Aires. 55p.
- PAPADAKIS, J. 1974. Ecología, posibilidades Agropecuarias de las Provincias Argentinas. Fascículo 3. Enciclopedia Arg. de Agric. y Jardinería. Ed. ACME. 86p.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. 1997. Mensura Forestal. IICA-BMZ-GTZ. San José. 561 p.
- VERGARA, R.; FLORES DE LA C., J. 1983. Análisis de índice de productividad de sitio para la VII Región. INFOR. Santiago. Chile.