

Curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirb.) Franco de aplicación en la región andino patagónica de las provincias de Río Negro y Chubut, Argentina

E. ANDENMATTEN & F. LETOURNEAU

Campo Forestal Gral. San Martín - INTA. CC 26 (8430) El Bolsón, Río Negro, Argentina.
E-mail: postmaster@campfor.inta.gov.ar

ANDENMATTEN, E. & F. LETOURNEAU. 1998. Curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirb.) Franco de aplicación en la Región Andino Patagónica de las provincias de Río Negro y Chubut, Argentina. Rev. Fac. Agron., La Plata 103 (1):69-75.

El objetivo de este trabajo fue establecer curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para Pino Oregón, de aplicación en la región andino patagónica. Mediante el análisis fustal de 69 árboles dominantes, seleccionados de 28 rodales, distribuidos en el área comprendida por Bariloche como límite norte (41° S, provincia de Río Negro) y El Corcovado al sur (43°30' S, provincia de Chubut) y las isohietas de 500 a 1500 mm de precipitación media anual, como límites este-oeste, se formó una base de 1481 observaciones altura - edad al pecho. Para la construcción de la familia de curvas de crecimiento en altura se procedió según la metodología de Curva Guía y su posterior armonización, aplicando técnicas de regresión no lineal al modelo de Schumacher. Las curvas de índice de sitio, basadas en altura y edad se dedujeron de la función armonizada de crecimiento en altura, tomándose como edad de referencia 20 años a la altura del pecho. Para la función de índice de sitio se realizó una validación contra sus propios datos y se contrastó la función de crecimiento en altura con curvas de aplicación en el área de origen de la especie. El modelo de índice de sitio presentó, en la distribución de los errores de predicción, patrones similares a los citados en la literatura, con errores inferiores a 0,10 m a la edad de 20 años y en el contraste de las curvas de crecimiento en altura se observaron patrones similares a las curvas desarrolladas por Bruce para su área de origen dentro del rango de edades de la muestra (<40 años), siendo la diferencia inferior al 2 % a la edad de 65 años.

Palabras Clave: *Pseudotsuga menziesii*, Calidad de Sitio, crecimiento en altura, Índice de Sitio, Patagonia.

ANDENMATTEN, E. & F. LETOURNEAU. 1998. Site index and height growth curves for Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirb.) Franco in the Patagonian Andean Region of Río Negro and Chubut, Argentina. Rev. Fac. Agron., La Plata 103 (1):69-75.

The aim of this paper was to establish Site Index and height curves for Douglas-fir for the application in the Patagonian Andean region. There is no antecedence in the region. From stem analysis to 69 dominant trees, selected from 28 plots, into the area between Bariloche in the north (41°30' S, Río Negro Province) and El Corcovado in the South (43° 30'S, Chubut Province), and between 500 to 1500 mm mean annual precipitation isohyet, as east and west limits, we prepared a data base with 1481 height-age register. For the construction of the growth height curve family we proceeded according with the methodology of the guide curve method and its later armonization, applying no linear method to the Schumacher Model. The site index curve were deduced from the height growth curve, the reference age is 20 years at breast height. The autovalidation was made and the function was contrasted with Bruce's height growth curve applied in the origin region. The distribution of the error prediction was very similar to those found in literature, and when we make the Bruce height growth

curves constrats we find the same pattern in the range of age of the sample (<40 years), and 2% difference at the age of 65 years (out of the sample age).

Keywords: *Pseudotsuga menziesii*, Site Quality, height growth, Site Index, Patagonia.

INTRODUCCIÓN

Las forestaciones de Pino Oregón en la región patagónica presentan un importante potencial de crecimiento, aunque hasta la fecha solo existen trabajos aislados referidos a los aspectos dendroepidoméricos de la misma, ocupando esta especie el segundo lugar en la preferencia de los forestadores de la región (Benedetti, 1992; Rey, 1993).

En general se la consideró exigente, recomendándose su implantación en sitios con suelos profundos, libres de heladas tardías y sin vientos fuertes (Enricci, 1993), lo cual llevó a inducir la forestación solo en los mejores sitios disponibles. Por otra parte las dificultades de prendimiento respecto a otras especies como Pino Ponderosa y *P. Murrayana* también condicionó a los forestadores, que prefirieron la seguridad en la implantación antes que los posibles beneficios futuros derivados de la calidad de su madera. Actualmente y ya con forestaciones maduras, los precios alcanzados en la comercialización inducirán un cambio, dando preferencia a esta especie en sitios que le son favorables (PNEF, 1995).

Thrower (1989) define a la Calidad de Sitio como la capacidad intrínseca del mismo para el crecimiento de los árboles de una especie forestal, siendo su expresión directa la producción obtenida al momento de la corta final. Esta es alterada por las condiciones de manejo, por lo que se prefieren estimaciones indirectas basadas en la altura dominante, como se utiliza en el método de Índice de Sitio.

La capacidad para predecir con precisión el crecimiento y la producción futura de rodales y bosques es fundamental para el manejo

del recurso siendo las curvas de índice de sitio y crecimiento en altura componentes básicos en la mayoría de los modelos de crecimiento y producción (Thrower & Goudie, 1992).

Se considera necesario contar con estos elementos de clasificación de sitios forestales para en posteriores trabajos establecer las relaciones causales que determinan la productividad de un sitio dado, basados en los factores del medio ambiente (Schlatter & Gerding, 1995). Ello permite extrapolar la información a futuras áreas de plantación que actualmente no cuentan con masas de esta especie.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar curvas de crecimiento en altura y de predicción de índice de sitio para Pino Oregón.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra comprendida por Bariloche como límite Norte (41° S, Provincia de Río Negro) y El Corcovado al Sur (43°30' S, Provincia de Chubut) y las isohietas de 500 a 1500 mm de precipitación media anual, como límites Este - Oeste en la patagonia andina (Cordón *et al.*, 1993). Como se mencionó anteriormente por ser una especie considerada de difícil establecimiento, en general se implantó en sitios que le fueran muy favorables, lo cual se ve reflejado en la poca representación de sitios de menor calidad, condicionando el rango de la muestra.

En este trabajo el término edad se utilizó para aquella determinada a la altura del pecho (EAP) y la altura es la total, medida desde el nivel del suelo. El índice de sitio (IS), se adoptó según la convención habitualmente uti-

lizada, como la altura promedio de la porción dominante de un rodal coetáneo a una edad de referencia, tomándose como la porción dominante, según Assman (citado por Mitchell & Cameron, 1985), a los 100 árboles mayor diámetro por hectárea.

Se seleccionaron 28 rodales de espesura completa que no presentaran signos de raleos por lo alto ni daños evidentes. La edad de las masas existentes también condicionó la amplitud de la muestra ya que son poco frecuentes aquellas que superan los 20 años de EAP (Benedetti, 1992; Rey, 1994) (Tabla 1), siendo por el momento imposible lograr una representación balanceada y/o suficiente por tipos de hábitats.

En cada parcela de forma cuadrada a ligeramente rectangular, de aproximadamente 700 m² se escogieron y aparearon tres (3) árboles muestra, que fueran los de mayor diámetro, pertenecientes al estrato dominante y sin apariencias de daños o roturas (Edminster *et al.*, 1991; Thrower & Goudie, 1992). La discrepancia entre el número de plantas extraídas según la superficie de la parcela con lo habitualmente utilizado (proporcional a los 100 de mayor diámetro por hectárea) es por considerar los autores que estos árboles representan de forma adecuada el patrón de crecimiento en altura para cada sitio muestreado.

A cada árbol muestra se le realizó el análisis fustal, determinando los pares altura-edad para cada verticilo y también según cortes fijos cada 2,50 m. Los datos empleados en el ajuste de la función corresponden a los verticilos ya que con ello se evita la necesidad de realizar correcciones para establecer la ubicación correcta de la culminación anual del crecimiento en altura (Di Lucca, 1995).

En campo y gabinete se realizó un control cruzado entre las lecturas de verticilos y cortes fijos, eliminando inconsistencias y errores groseros. Con ello se conformó una base de datos con 1481 observaciones altura-edad al pecho (Tabla 1).

Para la formación de la familia de curvas

Tabla 1. Número de árboles muestra por clase de edad.

Number of site trees by age class.

Clase de edad [años]	Nro. de árboles muestra
10-15	6
15-20	31
20-25	16
25-30	4
30-35	4
35-40	8

de crecimiento en altura, se procedió según el método de curva guía que consiste en ajustar a los datos la función seleccionada, para posteriormente y para una edad de referencia determinada proceder a la armonización de esta curva (Alder, 1980; Zepeda & Rivero, 1984; Burkhart & Gregoire, 1994).

Por revisión bibliográfica se seleccionó el modelo de Schumacher (Alder, 1980; Carmean, 1972; Burkhart & Gregoire, 1994; Fassola & Wabo, inédito) por considerar que el mismo combina una correcta representación biológica por medio de pocos parámetros, siendo su expresión,

$$H = a \times e^{(b/EAP^c)}$$

donde:

H [m]: altura total

EAP [años]: edad a la altura del pecho

e : base de los logaritmos naturales

a, b, c = parámetros

el ajuste se realizó mediante técnicas de regresión no lineal con el empleo del paquete estadístico STATGRAPH versión 6.0.

Una vez que la curva promedio de crecimiento de la altura (curva guía) ha sido ajustada, pueden trazarse curvas de la misma forma (anamórficas) que pasen por diferentes valores de índice de sitio (armonización). Si el

IS se define como la altura dominante del rodal a una edad de referencia (ER) el parámetro "a" de la curva que pase por este IS estará dado por (Alder, 1980),

$$a = IS/e^{(b/ER^c)}$$

fijándose la edad de referencia (ER), como aquella a la cual se produce el máximo incremento medio en altura. (Zepeda & Rivero., 1984).

Reemplazando "a" en el modelo de Schumacher se obtiene el modelo que permite formular la familia de curvas de crecimiento en altura:

$$H = \frac{IS}{e^{(b/ER^c)}} \times e^{(b/EAP^c)}$$

Por último, las curvas de índice de sitio (IS) basadas en altura y edad se construyeron deduciendo matemáticamente de esta función armonizada de crecimiento en altura la expresión correspondiente que toma la siguiente forma (Curtis, 1964; Burkhart & Greigore, 1994).

$$IS = \frac{H}{e^{(b/EAP^c)}} \times e^{(b/ER^c)}$$

Validación

A efectos de evaluar la bondad del modelo de predicción de índice de sitio, dentro de cada clase de sitio establecida se promediaron para cada año de edad las alturas observadas, de los árboles comprendidos en la misma (autovalidación).

Utilizando cada una de estas observaciones, se estimaron los índices de sitio (**IS est.**) y a posteriori se calculó el error respecto del índice de sitio promedio observado (altura total promedio de la CS a la ER, **IS obs**) (Johnson & Worthington, 1963; Fassola & Wabo, inédito).

Contraste con curvas de aplicación en el área de origen de la especie

Por último, se realizó una comparación con curvas desarrolladas por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (Bruce, 1981). Para ello se contrastó la curva guía con una de crecimiento en altura de similar IS (39 m a 50 años o su equivalente 19.5 m a los 20 años).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo ajustado a los datos y que constituye la curva guía tomó la siguiente expresión,

$$H = 616.87 \times e^{(-7.312146/EAP^{0.250270})} \quad [1]$$

resultando satisfactorio tanto el ANOVA ($p < 0.05$, Tabla 2) como el análisis visual de la representación gráfica de residuales y de los datos contra la curva ajustada (Figura 1).

Al analizarse los resultados del ANOVA debe considerarse que las medidas de crecimiento sobre un mismo árbol, difícilmente puedan tomarse como independientes, con lo que los resultados de la tabla de análisis de la varianza que supone 1481 grados de libertad podrían ser cuestionados, pudiendo invalidarse el nivel de significación a que se realiza la prueba F, pero no el modelo mismo obtenido

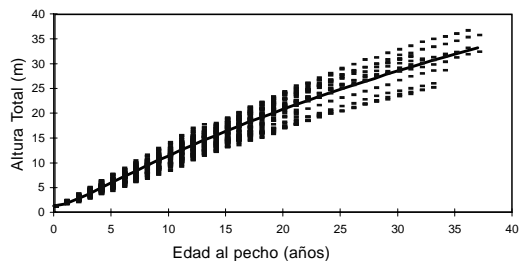


Figura 1. curva guía (Modelo de Schumacher) superpuesta a observaciones altura-edad al pecho.

Guide curve (Schumacher function) over height-breast height age data pairs.

Tabla 2. Análisis de varianza para el modelo de Schumacher, ajustado como curva guía.

Anova of Schumacher's Guide Curve fitted.

Origen	Suma de cuadrados	G.I.	Cuadrado Medio	F
Modelo	266675	3	88891,82	33594
Error	3910	1478	2,6460	
Total	270,586	1481		

por mínimos cuadrados (Alvarez, 1994).

Previo a la armonización de la curva guía se determinó que el máximo incremento medio anual en altura sucede aproximadamente a los 20 años de EAP, tomándose esta como edad de referencia (ER). La misma edad es utilizada en Chile, Australia y Nueva Zelanda para Pino Radiata (Mclaren, 1993) y Andenmatten & Letourneau (1996) encontraron satisfactorio la utilización de esta edad para el desarrollo de curvas similares para Pino ponderosa de aplicación en la misma región.

La curva guía armonizada tomó la siguiente expresión,

$$H = \frac{(IS-1,3)}{e^{(-7.312146/20^{0.250270})}} \times e^{(-7.312146/EAP^{0.250270})} + 1,3 \quad [2]$$

que permite formar la familia de curvas de crecimiento en altura deseadas según IS (Figura 2)

Basados en la amplitud de IS muestrados (15 m < IS < 24 m) se formaron tres clases de calidad de sitio (CS) de una amplitud de tres metros cada una (Zepeda, 1984), denominándolas Clase I (Muy buena, 21 < IS < 24 m), II (Buena, 18 < IS < 21 m), III (Regular, 15 < IS < 18 m), siguiendo una división similar a la propuesta por Mitchell & Cameron (1985) (Figura 2). Para fines prácticos se propone la incorporación de otra CS, IV (Mala, 12 < IS < 15 m) aunque en la muestra no se encuentra disponible tal sitio, constituyendo una extrapolación que debe ser tratada con cuidado.

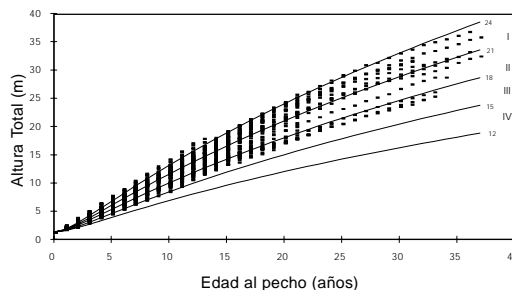


Figura 2. Curvas de crecimiento en altura por clase de sitio.

Height growth curves by site class.

Por último se dedujo la función de predicción del IS a partir de la expresión [2],

$$IS = \frac{(H-1,3)}{e^{(-7.312146/EAP^{0.250270})}} \times e^{(-7.312146/20^{0.250270})} + 1,3 \quad [3]$$

la que permite construir las curvas de IS basadas en la altura dominante y edad (Figura 3).

Del análisis de la autovalidación surge que a edades tempranas la función [3] presenta sesgos en la predicción del IS, disminuyendo por debajo de 1 m a los 13 años, 0,10 m a la edad de referencia y 0,40 m a los 34 años (Figura 4). Para distintas especies y metodolo-

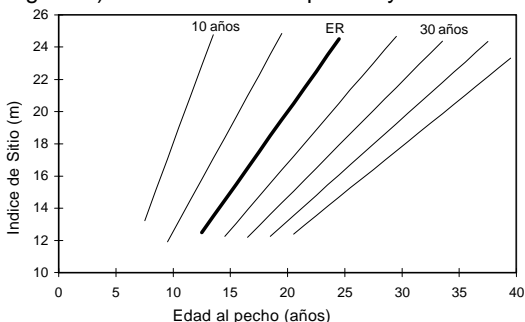


Figura 3. Curvas de índice de sitio según Altura y EAP, ER: Edad de Referencia.

Site index curves by Height and breast height age, ER: Index Age.

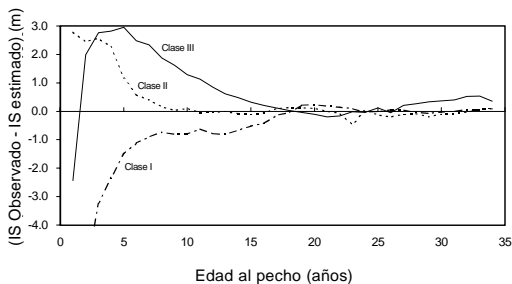


Figura 4. Errores en la predicción del IS según EAP y calidad de sitio.

Site index prediction error by site class.

gías de ajuste se han observado patrones similares en la distribución de los errores de predicción del IS (Johnson & Worthington, 1963; Thrower, 1989; Fassola & Wabo, inédito).

Por último en el rango de los datos aquí presentados (< 40 años) se observa en la comparación de la curva contra la desarrollada por Bruce, que se comportan de forma similar, presentando diferencias de un metro a los 65 años de EAP, lo que constituye un apartamiento del 2% (Figura 5).

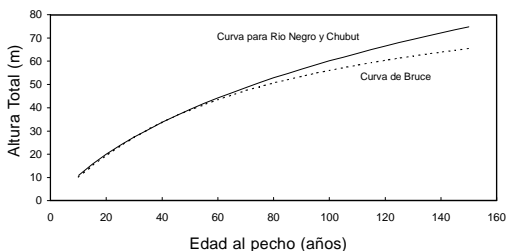


Figura 5. Curva guía superpuesta a la curva de Bruce para igual índice de sitio.

Guide curve over Bruce's height growth curve with equal site index.

CONCLUSIONES

Para la región estudiada, se propone el empleo de las expresiones determinadas (funciones [2] y [3]) para el crecimiento en altura y predicción de índice de sitio

Una validación será necesaria cuando se considere que pueden existir diferencias de origen genético, y/o por plantaciones ubicadas fuera del ámbito geográfico descripto, y/o se superen los límites de rango propuesto para IS (15<IS<24) y edad (<40 años).

En el futuro, cuando se disponga de información adecuada se deberían desarrollar modelos polimórficos basados en tipos de hábitats.

AGRADECIMIENTOS

Al Técnico Forestal Christian Jimenez quién realizó la mayor parte del trabajo de campo apoyado por personal del CFGSM del INTA y participó en el diseño de las primeras planillas para análisis de la información recolectada. A los propietarios de las plantaciones que nos permitieron cortar y utilizar el material base de este estudio. Los fondos que posibilitaron la realización de este trabajo fueron aportados por INTA, Universidad Nacional de la Patagonia, Consejo de Ciencia y Técnica de la provincia del Chubut y Cooperadora del Campo Forestal Gral. San Martín - INTA.

BIBLIOGRAFÍA

Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Con referencia especial a los trópicos. Vol 2. Predicción del rendimiento. Roma. Estudio FAO: Montes 22/2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 80 pp

Alvarez, O. 1994. Curso de Estadística. Campo Forestal Gral. San Martín-INTA.

Andenmatten, E. & F. J. Letourneau. 1996. Primeras Curvas de Índice de Sitio y Crecimiento en Altura para Pino Ponderosa (*Pinus ponderosa*)(Dougl.) Laws de Aplicación en la

- Región Andino Patagónica de las Pcia. de Río Negro y Chubut. En prensa
- Benedetti, J.** 1992. Mapa de distribución de plantaciones del NO del Chubut según edades. Inédito.
- Bruce, D.** 1981. Consistent Height-Growth and Growth-Rate Estimates for Remesured Plots. Forest. Sci. Vol 27. N° 4: 711-725.
- Burkhardt, H. & T. Gregoire.** 1994. Forest Biometrics. Handbook of Statistics, Vol. 12, Fourth Edition MacGraw Hill.
- Carmean, W.** 1972. Site Index Curves for Upland Oaks in the Central States. Forest Science 18 (2): 109-120.
- Cordon, V., J. Forquera & J. Gastiazoro.** 1993. Estudio microclimático del Area Cordillerana del Sudoeste de la Provincia de Río Negro "Cartas de Precipitación". Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias Agrarias. Cinco Saltos. Río Negro. Argentina, 17 pp.
- Curtis, R.** 1964. A Stem-Analysis Approach to Site-Index Curves. Forest Science Volume 10 (2): 241-255.
- Di Lucca, M.** 1995. Curso de Modelos de Crecimiento y Producción Forestal. Bariloche, Argentina, INTA, pp 54
- Edminster, C. R. Mathiasen & W. Olsen.** 1991. A method for Constructing Site Index Curves from Height-Age Measurements Applied to Douglas-Fir in the Southwest. Research Note RM-510 USDA Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Enricci, J.** 1993. Posibilidades para la forestación en la subregión central del ecosistema andino patagónico. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Publicación técnica Nro. 14.
- Fassola, H. & E. Wabo.** Funciones de Calidad de Sitio para *Pinus elliotti* Engelm en Misiones (Argentina). Inédito.
- Johnson, F. & N. Worthington.** 1963. Procedure for developing a Site Estimating System from Stem Analysis Data. U.S. Forest Service, Reserach Paper PNW-7.
- Maclaren, J.** 1993. Radiata Pine Grower's manual. New Zealand Forest Research Institute.
- Mitchell, K. & Y. Cameron.** 1985. Managed Stand Yield Tables for Coastal Douglas-Fir: Initial Density and Precommercial Thinning. Land Management Report Number 31. B.C. Ministry of Forests Research Branch. 1985. pp 69
- PNEF, (Plan Nacional de Extensión Forestal)** 1995. Boletín de precios, tendencias, comercio y rentabilidad forestal. SAPyA-INTA. 5: 1-35.
- Rey, M.** 1993. Evaluación de las masas forestales implantadas en la Región Andina. Provincia de Río Negro - Consejo Federal de Inversiones. Primera Etapa : Censo Forestal
- Schlatter, J. & B. Gerding.** 1995. Método de clasificación de sitios para la producción forestal, ejemplo en Chile. Actas Simposio IUFRO para Cono Sur Sudamericano. Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia Chile. 1-16.
- Thrower, J.** 1989. Site Quality Evaluation Using Site Index. Presentation given at Silviculture Institute of British Columbia, Module III Training Course at Surrey BC. pp 11
- Thrower, J. & J. Goudie.** 1992. Development of Height-age and Site index Functions for Even-aged Interior Douglas-Fir in British Columbia. Research Note N° 109. B.C. Ministry of Forests. Forest Science Research Branch. pp 22
- Zepeda, B. & B. Rivero.** 1984. Construcción de curvas anamórficas de Índice de Sitio: Ejemplificación del método de Curva Guía. Rev. Ciencia Ftal. N°51, (Sep. Oct.), Vol 9: 1-38.