

Índices de calidad de sitio de *Populus nigra* 'Italica' en plantaciones lineales en el noroeste de Chubut ¹

Site quality index of *Populus nigra* 'Italica' in linear plantations in Northwestern Chubut

Ivana Amico ²

José Bava ^{3, 4}

Alberto D. Calderón ⁵

Originales: Recepción: 22/12/2009 - Aceptación: 02/06/2010

RESUMEN

En el noroeste del Chubut, los álamos se encuentran establecidos en cortinas de protección en predios de pastoreo o donde se cultivan pasturas y forrajes en seco. El *Populus nigra* 'Italica' es el clon más difundido en plantaciones lineales, ubicadas en diferentes calidades de sitio. No existen antecedentes sobre crecimiento en altura e Índice de Sitio en la zona. Se seleccionaron ocho sitios de muestreo, donde fueron apeados 24 árboles dominantes, a los que se les realizó análisis fustal. Con los pares de datos de edad-altura, resultantes del análisis de fuste de los árboles muestra, se ajustó el modelo de Chapman-Richards mediante técnicas de regresión no lineal. Se construyó una familia de curvas de crecimiento en altura, según la metodología de curva guía. Las curvas de Índice de Sitio, basadas en altura y edad, se construyeron mediante deducción matemática a partir de la función de crecimiento en altura, tomándose como edad de referencia 25 años a la altura del pecho. Se definieron cinco calidades de sitio, con un rango de 4 metros, con Índices de Sitio comprendidos entre 19 y 35 m.

ABSTRACT

In the northwest of Chubut poplars are established as lines for wind break in grazing land protection or where they are grown non-irrigated hay. *Populus nigra* 'Italica' is the most widespread clone in linear plantations, located in different site qualities. There is no background on height growth and Site Index in the area. Eight sites were selected for sampling where 24 dominant trees were felled for stem analysis. With the database of age-height resulting from stem analysis of sample trees, we adjusted the Chapman-Richard's model, using nonlinear regression techniques. We built a family of height growth curves using the guide curve methodology. Site Index curves, based on height and age, were constructed by mathematical deduction of height growth function, taking as reference age 25 years at breast height. We defined five site qualities, with a range of 4 meters, with Site Index from 19 to 35 m.

1 Este trabajo fue realizado con los fondos aportados por el INTA EEA Esquel.

2 Estación Experimental Agroforestal INTA Esquel. Chacabuco 513. (9200) Esquel. Chubut. iamico@correo.intra.gov.ar

3 Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). Ruta 259. (9200) Esquel. Chubut.

4 Cátedra Dasometría. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Ruta 259. (9200) Esquel. Chubut.

5 Instituto Forestal, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB.

Palabras clave

Calidad de Sitio • *Populus nigra* • modelo de Chapman-Richards • Patagonia

Keywords

Site quality • *Populus nigra* • Chapman-Richards' s model • Patagonia

INTRODUCCIÓN

En el noroeste del Chubut los álamos se encuentran establecidas en cortinas de protección; el *Populus nigra* 'Italica' es el clon más frecuente y de mayor difusión. A pesar del potencial productivo de la región y la necesidad de cortinas forestales, hay pocas forestaciones con álamos destinados a proteger los predios.

Los predios donde se ubican las alamedas se destinan principalmente al cultivo de pasturas y forrajes en secano, y al pastoreo de vacunos y ovinos. Los árboles son apeados cuando alcanzan la madurez, siendo la madera utilizada para encofrado, tirantería, muebles, postes y leña. Las plantaciones carecen de manejo, pero generalmente se realizan podas de formación durante los primeros años. En la zona, los álamos están implantados en sitios con diferentes condiciones ambientales, pero no existe ninguna información sobre la calidad de sitio.

La calidad de sitio es una expresión de la capacidad productiva de un área, para una especie determinada. Es la máxima productividad potencial de una especie forestal en un sitio determinado (9). También se la define como la respuesta, en el desarrollo de una determinada especie, a la totalidad de las condiciones ambientales existentes en un determinado lugar (22). Su conocimiento es fundamental para predecir o modelar la producción, pero también para elegir los mejores sitios y así plantar la especie apropiada en el lugar adecuado.

El Índice de Sitio (IS) es el método más empleado para definir la calidad de sitio. Es un método indirecto que utiliza la relación edad-altura dominante. Se define el IS como la altura máxima promedio que alcanza un bosque o un rodal a una edad de referencia determinada o base (11, 22).

La altura de los árboles dominantes se utiliza como indicador de productividad, porque es la variable menos afectada por la densidad y el manejo de un rodal (2). El IS es una variable de gran importancia, que expresa el crecimiento e influye en la determinación del ciclo de corta y de la producción (5).

La mayoría de los métodos utilizados para determinar la calidad de sitio, basándose en la altura de los árboles dominantes, radica en el ajuste de curvas que permitan predecir el crecimiento en altura en los diferentes sitios. Para diferenciar un sitio de otro se escoge una edad base o de referencia y se compara la altura que alcanzan los árboles de cada curva a dicha edad (13).

En el noroeste de Chubut y en la Región Andino-Patagónica no existe información sobre IS para álamo ni antecedentes sobre calidad de sitio y modelos de predicción, que permitan estimar el crecimiento y la producción de álamos en diferentes condiciones de sitio.

Objetivos

- Ajustar un modelo de predicción para determinar la altura dominante a partir de la edad.
- Elaborar curvas de Índice de Sitio para *Populus nigra* 'Italica' establecido en plantaciones lineales en secano en el noroeste de Chubut.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Está ubicada en el noroeste de la provincia de Chubut, en la región andina de la Patagonia Argentina. Se caracteriza por tener un relieve accidentado y heterogéneo, presentando sectores montañosos, valles, colinas, mesetas y sierras (4). La Cordillera de los Andes ubicada al oeste y la topografía irregular de toda la región, determinan una gran variabilidad climática y edáfica (10). La vegetación natural comprende áreas de bosque, praderas, estepas gramíneas y estepas arbustivas (24).

Los valles son las áreas con el mayor potencial productivo de la región. Por sus condiciones climáticas, edáficas y balance hídrico favorable, permiten el desarrollo de diversas actividades agropecuarias. La forestación es una actividad complementaria, enmarcada dentro del esquema de la diversificación.

El clima de la región es templado frío con una estación seca en primavera-verano y húmeda en otoño-invierno. La temperatura media anual varía entre 9 y 10°C y las precipitaciones medias anuales entre 500 y 1000 mm (3, 18).

La ubicación de las alamedas relevadas es la siguiente: Latitud: 42° a 43° Sur; Longitud: 71°08' a 71°37' Oeste y Altitud: 250 a 700 m.s.n.m.

Ajuste de un modelo de predicción de edad - altura dominante

Se seleccionaron ocho sitios ubicados en el área de estudio, donde se determinaron parcelas de 50 árboles. En cada parcela se seleccionaron y aparearon 3 árboles dominantes sin apariencias de daños o roturas. Se consideraron como dominantes los árboles de mayor diámetro, cuyo diámetro a la altura del pecho (Dap) fuera mayor al DCM (diámetro cuadrático medio), de cada parcela. Se realizó el desrame con motosierra y machete para posteriormente realizar un análisis de fuste. De cada árbol se tomaron secciones o rodajas de aproximadamente 5 cm de espesor, a 30 cm del suelo (tocón), a 1,3 m (altura de pecho) y posteriormente cada 2 ó 3 m hasta completar la altura total. Las rodajas se secaron en estufa para eliminar parcialmente el contenido de humedad. Una vez seco el material se procedió a lijar cada rodaja para contar los anillos y determinar la edad.

Los estadísticos descriptivos de los árboles muestra, para el ajuste del modelo, se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los árboles muestra usados para ajustar la ecuación de edad-altura dominante.

Table 1. Descriptive statistics of sample trees used to adjust age-dominant height equation.

Estadísticos	Dap (cm)	Ht (m)	E _{tc} (años)	E _{Ap} (años)
Media	56,7	29,5	31	29
DE	8,9	4,2	9,7	9,9
CV (%)	15,6	14,4	31,8	33,9
Máximo	71,5	36,8	52	51
Mínimo	44,5	22,4	23	22

Dap: diámetro a la altura del pecho; Ht: altura total; E_{tc}: Edad a la altura del tocón; E_{Ap}: Edad a la altura del Pecho; DE: desvío estándar, CV: coeficiente de variación.

A partir de los datos del análisis de fuste de los 24 árboles dominantes se obtuvieron series de datos de edad-altura para cada árbol, desde la plantación hasta el momento del análisis. Para la estimación de las alturas totales, a distintas edades, se aplicó la metodología propuesta por Carmean (1972) (14). Este método se basa en el supuesto que el crecimiento en altura es constante para cada año, por lo que está total o parcialmente contenido dentro de la sección y, en promedio, el corte ocurrirá en la mitad del crecimiento en altura del año.

En total se obtuvieron 705 pares de datos de edad-altura dominante con los que se ajustó el modelo de crecimiento de Chapman-Richards, mediante técnicas de regresión no lineal. Este modelo se seleccionó por considerar que combina una correcta representación biológica por medio de pocos parámetros y porque es uno de los modelos más utilizados para explicar el probable desarrollo de la altura dominante en un rodal (9, 12, 19, 22). La expresión del modelo es la siguiente:

$$Hd = a \left[1 - e^{(-bE)} \right]^c$$

donde:

Hd: altura dominante (m)

E: edad total (años)

e: base de los logaritmos naturales

a: parámetro que indica la asíntota

b: parámetro de escala

c: parámetro de forma

Para eliminar el crecimiento errático, correspondiente a los primeros años de la vida de la plantación y los años arbitrarios que se le agregan a la edad del tocón, se utilizó la edad a la altura del pecho, a 1,3 m, donde se mide el Dap. Mediante el uso de la edad al Dap se evitan los primeros años de crecimiento que son muy influenciados por factores ajenos al sitio en su crecimiento en altura, con la gran ventaja de que la altura del pecho es convencional (22). De esta manera, la edad cero al Dap se correspondió con 1,3 m de altura total y la ecuación a ajustar fue:

$$H d = 1,3 + a \left[1 - e^{(-b E_{Ap})} \right]^c$$

donde

E_{Ap} : edad a la altura del pecho (años)

Evaluación estadística

Para el ajuste de este modelo se utilizó el programa estadístico InfoStat (15). Para estimar los parámetros se utilizaron valores iniciales obtenidos de la bibliografía (9, 22). La evaluación del ajuste se fundamentó en el valor del cuadrado medio del error (CME), la presencia de bajos valores del error estándar (EE) de las estimaciones de los parámetros y alta significancia de los estimadores de los parámetros ($p \leq 0,05$) (16). La observación y análisis del gráfico de los residuales también sirvieron para el análisis del ajuste.

Para evaluar la bondad de predicción del modelo seleccionado se utilizó la misma base de datos usada para el ajuste. En esta evaluación se compararon los datos observados con los estimados por los modelos, y se adoptó como medida de sesgo la diferencia agregada (DIFA) y como medida de error, la raíz del error cuadrático medio (RECM) (22).

$$DIFA = \sum (o - p) / n$$

$$RECM = \sqrt{\sum (o - p)^2 / n}$$

donde

o : valor observado

p : valor predicho por el modelo

n : número de observaciones

Mediante la división por la media de los valores observados (mo) y su multiplicación por 100, se obtienen los valores porcentuales:

$$DIFA\% = (DIFA * 100 / mo)$$

$$RECM\% = (RECM * 100 / mo)$$

Construcción de curvas de Índice de Sitio

Para desarrollar la familia de curvas, se procedió según la metodología de la curva guía del modelo de Chapman-Richards, derivando los modelos siguientes a una edad base (9). La literatura menciona distintas formas de establecer la edad base o de referencia, entre ellas, la edad a la cual se estabiliza el crecimiento en altura o al finalizar la rotación (19). Otros autores aconsejan elegir una edad cerca del turno técnico, es decir, cuando los árboles alcanzan un diámetro o volumen comercial de aprovechamiento (5).

Para *Populus nigra* 'Italica' cultivados en el noroeste de Chubut, se determinó un turno de corta en base a criterios técnicos forestales cercano a los 25 años (17). Por esta razón se consideró adecuado utilizar la edad de 25 años a la altura del pecho para el desarrollo de curvas de IS, de aplicación en la misma región.

Con la ecuación de Chapman-Richards ajustada se graficó la curva guía de crecimiento en altura y se calculó la altura dominante a la edad base establecida. De esta manera se determinó el IS para esa edad. Una vez que la curva promedio de crecimiento de la altura (Curva Guía) fue ajustada, se trazaron las curvas de la misma forma (anamórficas), que pasaron por diferentes valores de IS (armonización).

Para desarrollar la familia de curvas, los intervalos entre cada curva de IS se establecieron teniendo en cuenta la amplitud del diagrama de dispersión de los puntos edad-altura de los árboles muestra, de manera que la curva superior se ubicara en el límite superior del diagrama de dispersión y la curva inferior coincidiera con el límite inferior (5, 25). Las curvas para cada valor de IS preestablecido se obtuvieron a partir de la ecuación de la curva guía, manteniendo los parámetros "b" y "c" constantes y variando el valor del parámetro "a" (asíntota), con el fin de que la altura dominante a la edad de referencia, coincidiera con el IS correspondiente (9).

Partiendo de la ecuación de Chapman-Richards:

$$Hd = 1,3 + a \left[1 - e^{(-b E_{Ap})} \right]^c$$

la ecuación de la curva del Índice de Sitio es, por lo tanto:

$$IS = 1,3 + a \left[1 - e^{(-b E_b)} \right]^c$$

Si el IS se define como la altura dominante a una edad base a la altura del pecho (E_{Ap}) el parámetro "a" de la curva que pase por este IS estará dado por:

$$a = \frac{(IS - 1,3)}{\left[1 - e^{(-b E_b)} \right]^c}$$

Reemplazando "a" en el modelo de Chapman-Richards para determinar la altura dominante (Hd), se obtiene el modelo que permite formular la familia de curvas de crecimiento en altura:

$$Hd = (IS - 1,3) \left[\frac{1 - e^{(-b E_{Ap})}}{1 - e^{(-b E_b)}} \right]^c + 1,3$$

Para la predicción del Índice de Sitio a partir de la altura y la edad, la ecuación anterior puede reorganizarse algebraicamente:

$$IS = (Hd - 1,3) \left[\frac{1 - e^{(-b E_b)}}{1 - e^{(-b E_{Ap})}} \right]^c + 1,3$$

donde:

IS: Índice de Sitio (m)

Hd: altura dominante (m)

E_b : edad base en años a la altura del pecho: 25 años

e: base de logaritmo

b y c: parámetros estimados

E_{Ap} : edad a la altura del pecho (años)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo ajustado

A partir de los datos del análisis fustal y una vez generadas las series edad-altura para cada árbol, se procedió a la estimación de los parámetros del modelo. La función de edad-altura dominante ajustada fue la siguiente:

$$Hd = 1,3 + 35,871918 \left[1 - e^{(-0,059750 E_{Ap})} \right]^{1,299071}$$

El modelo ajustado presentó un bajo valor del CME: 3,947. En la tabla 2 puede observarse el análisis de regresión no lineal para el modelo ajustado y la Prueba de T para la hipótesis sobre la nulidad de los respectivos valores paramétricos. Los errores de los estimadores de los parámetros son aceptables, menores al 5%. Los valores de los parámetros estimados son significativos ($p < 0,001$) lo que indica que todos los términos del modelo realizan una contribución significativa.

Tabla 2. Parámetros y estadísticos ajustados para el modelo de Chapman-Richards.
Table 2. Statistics and adjusted parameters for Chapman-Richards model.

Parámetros	Estimación	Error estándar	T	p-valor
a	35,871918	0,546658	65,6204	< 0,001
b	0,059750	0,002759	21,6527	< 0,001
c	1,299071	0,042377	30,6550	< 0,001

Se analizó el comportamiento del modelo en forma gráfica, comparando el desarrollo en altura estimado por el mismo, en relación con las series edad-altura, a fin de observar la representatividad del modelo sobre los datos (figura 1). La dispersión de los pares de datos edad-altura no representan valores extremos o alejados que sesguen demasiado el ajuste del modelo, el cual se encuentra bien distribuido pasando por el centro de las series edad-altura y con una capacidad de exploración biológicamente consistente.

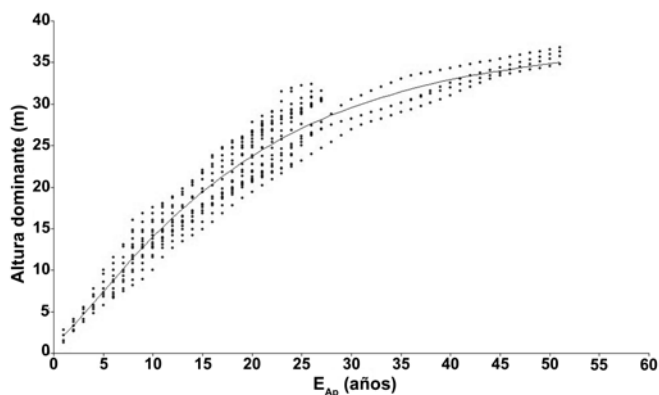


Figura 1. Desarrollo en altura del modelo ajustado y las series edad-altura de los árboles muestra.

Figure 1. Development of the adjusted height model and age-height series of sample trees.

Las medidas de error y sesgo del modelo se presentan en la tabla 3, donde se observa que los valores de DIFA son bajos y el error es aceptable para especies forestales, cercano al 10%.

Tabla 3. Medidas de error y sesgo de la función ajustada.

Table 3. Measures of error and bias of the fitted function.

DIFA	DIFA %	RECM	RECM %
-0,0201	-0,1078	1,9825	10,6239

Para complementar la evaluación del modelo se realizó el análisis visual del gráfico de los residuos estandarizados en función de las alturas predichas por el modelo (figura 2). Los residuos presentaron una distribución aceptable, en la cual no se observó una tendencia sistemática.

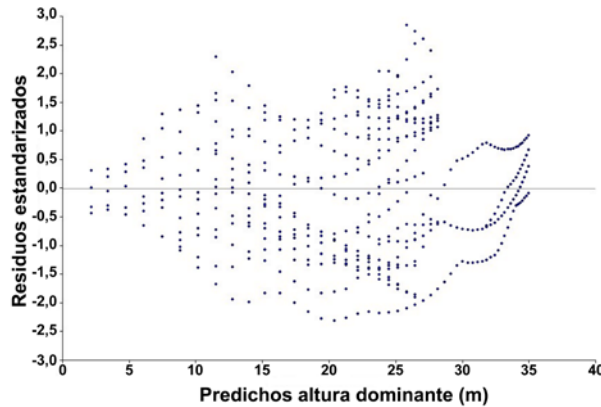


Figura 2. Residuos estandarizados de valores de altura estimado por el modelo.

Figure 2. Standardized residuals of height values estimated by the adjusted model.

Curvas de Índice de Sitio

Las funciones de altura dominante e Índice de Sitio del modelo seleccionado fueron las siguientes:

Función de altura dominante:

$$Hd = (IS - 1,3) \left[\frac{1 - e^{(-0,059750 E_{Ap})}}{1 - e^{(-0,059750 E_b)}} \right]^{1,299071} + 1,3$$

Función de Índice de Sitio:

$$IS = (Hd - 1,3) \left[\frac{1 - e^{(-0,059750 E_b)}}{1 - e^{(-0,059750 E_{Ap})}} \right]^{1,299071} + 1,3$$

La ecuación de IS ajustada para una edad base de 25 años tiene un rango de 19 a 35 m y puede ser usada hasta los 51 años a la altura de pecho (E_{Ap}). Esta ecuación permite estimar altura dominante a partir de la edad y del IS e inversamente, para estimar el IS a partir de la altura dominante y la edad.

Teniendo en cuenta el diagrama de dispersión de los valores de edad-altura dominante ajustados al modelo seleccionado, se definió una distancia entre calidades de sitio de 4 m, en la que se consideraron todos los puntos de dispersión (5, 25). Se formaron cinco clases de calidad de sitio, con una amplitud de 4 m cada una.

Las calidades de sitio se clasificaron del siguiente modo: Clase I: Excelente; Clase II: Muy buena; Clase III: Buena; Clase IV: Regular y Clase V: Mala. Las curvas resultantes se presentan en la figura 3.

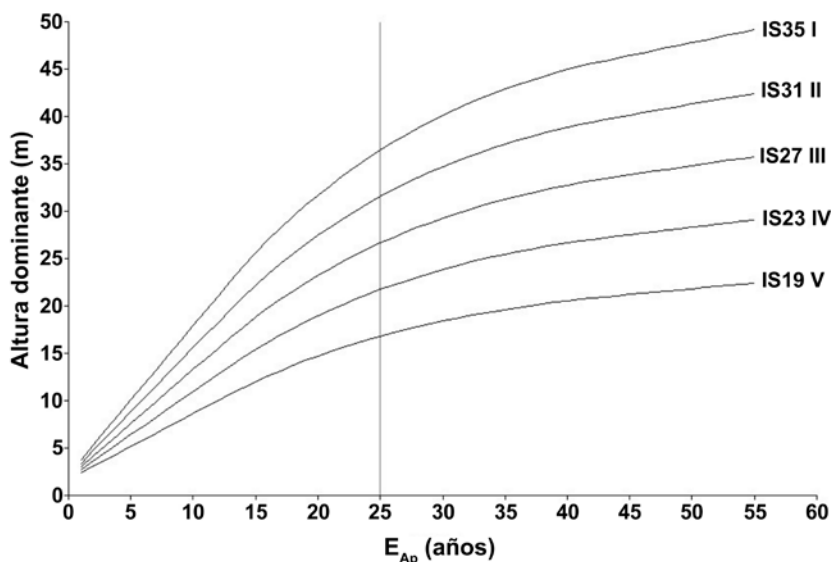


Figura 3. Curvas de Índice de Sitio y clasificación de Calidad de Sitio.
Figure 3. Site index models and quality site classification.

Calidad de sitio en el noroeste del Chubut

En Argentina las principales zonas donde se cultivan álamos son: el Delta del Río Paraná, la Pampa húmeda de la provincia de Buenos Aires, Mendoza y el Valle del Río Negro, que comprende las provincias de Neuquén y Río Negro. El *P. nigra* 'Italica' se encuentra más difundido en plantaciones lineales de protección en Mendoza, Neuquén y Río Negro, pero en estas provincias no existen antecedentes sobre Índices de Sitio.

La calidad de los sitios relevados en el noroeste de Chubut es muy buena, si se compara con otras regiones de la Patagonia. Las calidades de sitio son superiores a las registradas para el mismo clon en la zona este de Chubut y en la provincia de Santa Cruz. En el este de Chubut, los IS en suelo de buena calidad alcanzan a los 40 años, entre 20 y 22 m, mientras que los suelos pobres y con problemas de salinidad tienen IS comprendidos entre 10 y 13 m para la edad base de 40 años (20). En Santa Cruz, los IS a edad base de 40 años varían entre 10 y 22 m (21).

Existen antecedentes en otras regiones del país y el mundo, donde por las condiciones ambientales se cultivan otros clones. En la Pampa húmeda de la provincia de Buenos Aires, los IS para álamos deltoides con edad base de 10 años varían entre 17 y 30 m (1), mientras que en la zona del Delta del Río Paraná los IS, para una edad base de 10 y 8 años, se encuentran entre 18 m y 23 m (6, 7).

Otras especies de álamo establecidas en el hemisferio norte presentan IS muy disímiles. Para *P. tremula* en la cordillera Cantábrica, los IS varían entre 10 y 19 m a una edad base de 40 años (23). En el norte de Estados Unidos el IS de *P. tremuloides* en bosque nativo varía entre 5 y 25 m para una edad base de 50 años (8).

Las características ambientales del noroeste de Chubut determinan calidades de sitio buenas para el álamo negro, aun en seco. Así lo muestran los IS que resultan superiores a los obtenidos en Patagonia Sur.

Los suelos donde se encuentran las alamedas tienen muy buenas características para el desarrollo de los cultivos, son ricos en nutrientes, con alto contenido de materia orgánica y poco uso agrícola. Se debe tener en cuenta que en el mediano plazo, esta calidad puede disminuir si se realiza un uso intensivo de la tierra sin considerar aspectos como la reposición de nutrientes, la conservación de la materia orgánica y el mantenimiento de la estructura de los suelos.

Los pronósticos de rendimiento de cada especie están condicionados por la información genética, el sitio y las prácticas culturales, siendo estas últimas controlados directamente por el productor, mediante la elección de prácticas apropiadas (11).

Las actuales calidades de sitio del noroeste de Chubut también se pueden preservar y mejorar para incrementar los rendimientos mediante prácticas culturales, relacionadas con la calidad de sitio y el manejo.

Entre las vinculadas al sitio se puede mencionar la conservación de la fertilidad y estructura de los suelos evitando el sobrepastoreo, el laboreo excesivo y la implantación de cultivos extractivos continuos. Las de manejo son aquellas labores culturales a realizar durante los primeros años, para favorecer el desarrollo y crecimiento inicial de los árboles. Entre ellas se pueden mencionar el control de malezas alrededor de los árboles, para evitar la competencia por agua y nutrientes, la protección para evitar el ramoneo de animales y la realización de podas de formación durante los primeros años para asegurar crecimiento en un solo brote que formará el fuste.

El IS permitirá tomar decisiones en cuanto al manejo forestal y uso de la tierra. En el caso de plantaciones lineales con fines de protección, el IS puede ser una herramienta útil. Al predecir, de acuerdo con la calidad de sitio, la altura que alcanzan los árboles a una determinada edad, puede estimar el área protegida de los predios y planificar la distribución de las plantaciones dentro de los sistemas agropecuarios.

CONCLUSIONES

El modelo de Chapman-Richards ajustado presentó buenos estadísticos, siendo apropiado para describir el crecimiento en altura de *Populus nigra* 'Italica', en plantaciones lineales del noroeste de Chubut.

La calidad de sitio pudo ser determinada a través de variables de fácil medición, como la edad a la altura del pecho y la altura de los árboles dominantes.

Las curvas de Índice de Sitio constituyen las primeras elaboradas en la Patagonia Andina.

El modelo ajustado puede ser usado para estimar la altura dominante a partir de la edad a la altura del pecho (E_{Ap}) y del IS a una edad base de 25 años e inversamente, para estimar el IS a partir de la altura dominante y la edad a la altura del pecho.

BIBLIOGRAFÍA

1. Achinelli, F. G. 2006. Silvicultura de álamos y sauces en la Pampa húmeda. Actas Jornadas de Salicáceas, Buenos Aires. p. 21-26.
2. Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Estudio FAO Montes. Vol. II. 80 p.
3. Arbuniés, R. 1998. Relevamiento y estudio del régimen climático de la provincia del Chubut. Informe de Plan de Trabajo. EEA Chubut. INTA. Trelew, Chubut. 83 p.
4. Beeskow, A. M.; Del Valle; H. F.; Rostagno, C. M. 1987. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de Chubut. SECyT, Bariloche. 173 p.
5. Benavides Solorio, J. 1993. Guía para estimar Índices de Sitio en bosques de coníferas. Ed Matro, México. 20 p.
6. Casaubon, E.; Cueto, G.; González, A. 2009. Curvas de Índice de Sitio para *Populus deltoides* 'Onda' (ex I-72/51) en el bajo delta bonaerense del río Paraná. Actas Jornadas de Salicáceas, Mendoza, Argentina. 1 p.
7. _____; Cueto, G.; González, A. 2009. Curvas de índice de sitio para *Populus deltoides* 'Catfish 2' en el bajo delta bonaerense del río Paraná. Actas Jornadas de Salicáceas, Mendoza, Argentina. 1 p.
8. Chen, H. Y. H.; Klinka, K.; Kabzems, R. S. 1998. Height growth and site index models for trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) in Northern British Columbia. Forest Ecology and Management 102: 157-165.
9. Clutter, J.; Fortson, J.; Pienaar, L.; Bristen, G.; Bailey, R. 1983. Timber management: a quantitative approach. Editorial J. Willey & Sons, New York. 331 p.
10. Colmet Dâage, F.; Lanciotti, M. L.; Marcolin, A. 1995. Importancia forestal de los suelos volcánicos de la Patagonia Norte y Central. Climo-topo-secuencias de suelos y vegetación. INTA. EEA Bariloche. Centro Regional Patagonia Norte - SAGPyA. 27 p.
11. Daniel, P. W.; Helms, U. E.; Baker, F. 1982. Principios de Silvicultura. Editorial Mc Graw-Hill, México. 487 p.
12. Davel, M.; Ortega, A. 2003. Productividad por zonas de crecimiento para Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en la Patagonia Andina Argentina. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 12(3): 33-45.

13. Davis, L. S.; Johnson, K. N. 1987. Forest Management. McGraw-Hill, Inc. New York, USA. 790 p.
14. Dyer, M.; Bailey, R. 1987. A test of six methods for estimating tree heights from stem analysis data. Forest Science 33 (1): 3-13.
15. InfoStat. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
16. _____. 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Univ. Nac. de Córdoba. Editorial Brujas, Argentina.
17. Krieger, A. K. 2007. Determinación del turno en base a criterios técnico forestales para cortinas de *Populus nigra* cv 'Italica' sin riego, en valles cordilleranos del Chubut. Tesis para optar el grado de Ingeniero Forestal. Facultad de Ingeniería, UNPSJB. Esquel, Chubut. 51 p.
18. Méndez Casariego, H. 2008. Sistema de soporte de decisiones para la producción agrícola de los valles cordilleranos patagónicos. C.A. de Buenos Aires. INTA. CD ROM.
19. Ortega, A.; Montero, G. 1988. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. Revisión bibliográfica. Ecología 2: 155-184. Icona, Madrid.
20. Peri, P. L.; Battro, P.; Sendín, M. 1998. Uso de modelos de crecimiento en cortinas cortaviento de *Populus nigra* cv 'Italica', relacionado a las características de suelos y al inventario de existencias, en el valle inferior del río Chubut. Publicación Técnica Forestal N° 10 UNPA - EEA Santa Cruz - EEA Chubut. 18 p.
21. _____. ; Martínez Pastur, G. 1998. Crecimiento en cortinas cortaviento de *Populus nigra* cv 'Italica' en Patagonia, Argentina. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 7(1-2): 73-83.
22. Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura Forestal. Serie de Investigación y Educación en el desarrollo sostenible. BMZ/GTZ, IICA, San José, Costa Rica. 586 p.
23. Sierra de Grado, R. 2003. El Álamo temblón (*Populus tremula* L.). Bases para su cultivo, gestión y conservación. Editorial Mundi Prensa, España. 222 p.
24. Soriano, A. 1956. Los distritos florísticos de la provincia Patagónica. Revista de Investigación Agraria Argentina 10: 323-347.
25. Zepeda, B. E. M.; Rivero, D. P. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal 51(9): 1-38.

Agradecimientos

A los propietarios de las plantaciones que permitieron cortar los árboles para realizar este estudio.

A Walter Opazo, Martín Escalona y Marcos Menger por su asistencia en los trabajos de campo.

Al Ing. Ftal. Mg. Sc. Miguel Davel, investigador del CIEFAP y de la UNPSJB, por la revisión de esta publicación.