

Predicción y proyección del rendimiento de pino ponderosa en las provincias de Chubut y Río Negro, Argentina

Ponderosa Pine Yield Prediction and Projection in Chubut and Rio Negro provinces, Argentine

E. Andenmatten¹ y F. Letourneau¹

Recibido en abril de 2002, aceptado en marzo de 2003.

RESUMEN

Aplicando los conceptos desarrollados para predecir y proyectar rendimiento de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) mediante índices de densidad, se determinaron los coeficientes necesarios para pino ponderosa (*Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws) cultivado en la región de las provincias de Chubut y Río Negro, Argentina. El método se basa en el vínculo existente entre los índices de densidad relativa y factor de altura, ambos relacionados con el desarrollo en altura dominante. Aplicados sobre la tabla de rendimiento de rodal de la especie permiten la predicción y proyección del rendimiento. Esto permite estimar y proyectar el rendimiento en cualquier momento de la vida del rodal, para un amplio rango de densidades, edades, índices de sitio, en masas con o sin raleo. Los resultados fueron satisfactorios en las pruebas estadísticas establecidas.

Palabras Clave: Silvicultura, *Pinus ponderosa*, Mensura forestal, densidad, raleos, Patagonia.

ABSTRACT

We determined the coefficients for the estimation of current and potential yields of Yellow Pine (*Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws) plantations in the provinces of Chubut & Río Negro (Argentina). We did so, by making use of the concepts developed for Douglas fir stands (*Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco). The method relies on the existing relationship between stand relative density index and height factor. Both are related with growth in the dominant heights. Applied on the yield stand table available for the specie, it allows predict and project forest yield at any developmental stage, for a wide range of densities and site characteristics as well as for plantations with and without thinning. The estimated values did not differ significantly from the observed data.

Key words: Silviculture, *Pinus ponderosa*, forestry measurements, density, thinning, Patagonia.

¹ Campo Forestal Gral. San Martín, Estación Experimental Bariloche, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Casilla de correo 26 (8430) El Bolsón, Río Negro, Argentina. Email: eandenmatten@bariloche.inta.gov.ar

a) INTRODUCCIÓN

La región Andino Patagónica presenta condiciones naturales favorables para el establecimiento de plantaciones de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws), con áreas aptas en el orden de 1,5 millones de hectáreas (Díaz, 1997). Sumado a ello, los gobiernos nacional y provinciales han generado un marco legal apropiado para el desarrollo de esta actividad (Díaz, 1997; Ladrach, 1999), contando en la actualidad con una superficie plantada estimada en 70.000 hectáreas (SAGPyA, 2000 (a); (b)). Por ello es importante disponer de herramientas que permitan estimar la masa presente en una plantación y, también disponer de herramientas que permitan predecir y proyectar el rendimiento de dichas plantaciones a lo largo de su vida, facilitando la toma de decisiones de los distintos actores involucrados en la actividad. Una tendencia con aplicación en silvicultura es el desarrollo de modelos matemáticos, existiendo en la región patagónica los desarrollos logrados para pino oregón en las provincias de Chubut y Río Negro (Andenmatten, 1999) y para pino ponderosa en la provincia del Neuquén (Gonda, 1998).

El objetivo de este trabajo es validar una metodología que permita proyectar volumen, con o sin raleo, para plantaciones forestales de pino ponderosa en las provincias de Chubut y Río Negro, constituyendo objetivos particulares el establecimiento de índices de densidad, parámetros de las ecuaciones y validación del procedimiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio corresponde al área comprendida entre la ciudad de Bariloche, provincia de Río Negro (41° lat. S), la isohieta de 1500 mm al Oeste, la isohieta de 500 mm al Este (Cordón *et al.*, 1993) y la ciudad de Corcovado en la provincia de Chubut (43°30' lat. S). La transición Cordillera de los Andes-Meseta Patagónica, origina un fuerte gradiente de precipitaciones, y cambios de temperaturas, distribución de heladas y vientos (Cordón *et al.*, 1993). Los suelos son principalmente del Grupo Andosoles, que entre otras características se destacan por su buena permeabilidad y alta retención de humedad. Esta característica se pierde hacia el Este debido a que las cenizas volcánicas son menos frecuentes por la acción erosiva del viento y menor desarrollo del proceso de alofanización (Colmet-Daage *et al.*, 1995; Mendía e Irisarri, 1986). La vegetación de la región de estudio cambia desde las formaciones del Bosque Andino Patagónico de coihue (*Nothofagus dombeyi*) y ciprés de la cordillera (*Austrocedurs chilensis*) hacia el Oeste, pasa por una zona de transición con bosque de ñires (*N. antarctica*) y ciprés de la cordillera en formaciones abiertas y termina en la estepa gramínea (Colmet-Daage *et al.*, 1995; Dezotti y Sancholuz, 1991).

Base de información

Sobre el área de estudio se instalaron parcelas buscando una representación tan variada y extensa como fue posible. Todas las parcelas tuvieron al menos dos inventarios, y algunas incluso varias remediciones, considerando a cada inventario un “estado” en términos de la teoría de Estados y Transiciones (García, 1994). En la Tabla 1 se presenta un resumen de las características principales de todos los inventarios (estados), donde queda reflejada la amplia variabilidad lograda.

Tabla 1. Resumen de información característica de la muestra (n=87)

	Superficie	EAP	IS20	H	N	G	Dg
Mínimo	300	6	9,8	4,8	261	4,0	7,9
Medio	850	24	14,5	15,0	1320	50,7	22,2
Máximo	5700	62	21,0	37,3	3241	131,0	43,9

Donde:

n: número de muestras (cada estado de una parcela); Superficie: superficie de la parcela (m²); EAP: edad a la altura del pecho (años); IS20: índice de sitio (m), con edad de referencia 20 años a la altura del pecho; H: altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea (m); N: número de individuos (plantas / ha); G: área basal (m²/ha); Dg: diámetro cuadrático medio (cm).

Se midió a cada ejemplar el diámetro a la altura del pecho (DAP), con cinta diamétrica en milímetros, especificando el estado sanitario y forma. Para estimar la altura de cada individuo, se estableció en cada parcela la relación altura-DAP, siguiendo la metodología descrita por Andenmatten y Letourneau (1998). Para ello se utilizó una sub muestra, donde se extrajeron y aparearon árboles a los cuales se les realizó análisis fustal, determinando altura total, edad en cada sección de corte y diámetros con y sin corteza. Para las alturas, en menor medida se realizó medición en pie, empleando clinómetro y cinta métrica. Para la determinación del índice de sitio se siguió la metodología descrita por Assmann (1970), tomando como altura dominante el promedio de las alturas de los 100 individuos más gruesos por hectárea, empleando la relación altura-DAP y la EAP determinada en los árboles apareados. Las funciones de índice de sitio y crecimiento en altura utilizadas corresponden a las desarrolladas por (Andenmatten y Letourneau, 1997a) y, la estimación del volumen de las parcelas se logró por sumatoria del volumen de cada individuo inventariado, utilizando la ecuación de variable combinada propuesta por Andenmatten *et al.* (1995). Todos los parámetros descriptivos de las parcelas se extrapolaron a la hectárea para facilitar los cálculos y comparaciones.

Desarrollo del modelo

Una característica deseable de cualquier sistema de estimación y predicción, es que sea flexible, es decir que se adapte a una gran variedad de preguntas posibles. Por ejemplo, que brinde la información para carga máxima (densidad máxima), o para situaciones intermedias, como las que se generan posteriormente a raleos, y que también responda a variaciones en cuanto a calidad de sitio y edad. Las tablas de volumen de rodal de densidad variable, cumplen estos requisitos, tal como la propuesta por Mitchell y Cameron (1985), que permite estimar el rendimiento de un rodal en cualquier momento de su desarrollo. Andenmatten y Letourneau (1997b) ajustaron los coeficientes de este modelo (1), para parcelas de la misma región de este estudio, y por lo tanto es posible estimar el rendimiento de parcelas de pino ponderosa si se conoce la altura dominante y la densidad relativa del mismo:

$$V = a \times H^b \times DR^c \quad (1)$$

Donde:

V: rendimiento, expresado como volumen bruto de fuste (m³/ha), para todo DAP > 5 cm;

H: altura dominante del rodal (m);

DR: densidad relativa (Curtis, 1982).

Sus coeficientes: a=2,56116; b=1,0011; c=0,92113 (de aplicación en las provincias de Chubut y Río Negro).

Para el cálculo de la densidad relativa se aplica (2):

$$DR = \frac{G}{Dg^{0,5}} \quad (2)$$

Donde

G: área basal del rodal (m²/ha);

Dg: diámetro cuadrático medio del rodal (cm).

Cuando se desea anticipar el rendimiento, es decir, cual será el volumen del rodal a una edad futura, se deberá conocer: a) la altura dominante y, b) la densidad relativa correspondiente a ese momento.

- a) La altura dominante se puede estimar en un momento cualquiera mediante las curvas de crecimiento en altura, que utilizan el índice de sitio (IS) y edad a la altura del pecho (EAP). Estas funciones están disponibles para la región (Andenmatten y Letourneau, 1997a), con lo cual se considera que la proyección de la altura ya tiene solución.
- b) La densidad relativa se puede predecir conociendo la relación existente entre la densidad relativa y el factor de altura, según los antecedentes ya probados en pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) (Andenmatten *et al.*, 1997; Andenmatten, 1999). La validación de esta metodología es el punto central a desarrollar en este trabajo, ya que su incorporación a la expresión (1) permite la solución al problema de predicción según lo planteado.

Metodología de proyección de la densidad relativa

En la misma región de este estudio, trabajando sobre rodales de pino oregón, Andenmatten *et al.* (1997) y Andenmatten (1999) establecieron un vínculo entre dos índices de densidad, que permite el modelamiento de la trayectoria que sigue la densidad relativa en el desarrollo del rodal. El primer índice es el ya mencionado índice de densidad relativa y el segundo es el factor de altura (3) (Andenmatten *et al.*, 1997):

$$FH = \frac{H}{e} \quad (3)$$

Donde:

FH: factor de altura;

H: altura dominante del rodal (m);

e: Espaciamiento medio (m).

Para el cálculo del espaciamiento medio se aplicó (4):

$$e = \left(\frac{10.000}{N} \right)^{0,5} \quad (4)$$

Donde:

10.000: superficie de la hectárea (m²);

N: número de árboles (plantas / ha).

No se describe en este trabajo el significado de los índices de densidad, ya que existe abundante literatura al respecto, pero se menciona que la densidad relativa tiene un comportamiento e interpretación equiparable con el índice de densidad de Reineke (1933), y el factor de altura con el factor de espaciamiento (Hart-Becking, 1928-1954 y Wilson, 1954, citados por Prodan *et al.*, 1997), teniendo presente que son inversos ente sí.

El vínculo establecido y la idea básica se presentan en la Figura 1. En la misma se representa el desarrollo de ambos índices para un rodal, donde la altura dominante es la variable directriz. Se observa que ambos evolucionan hasta alcanzar cada uno un máximo, que ocurre en el mismo momento, altura H'. Posteriormente a alcanzar su máximo, y por la definición que tienen estos índices comienza una etapa de autorraleo, proceso mediante el cual se mantienen estables. Para esa etapa de autorraleo, se puede establecer el factor de proporcionalidad (5) (Andenmatten, 1999), considerado propio de la especie:

$$F = \frac{DR \text{ máximo}}{FH \text{ máximo}} \quad (5)$$

Donde:

F: Factor de proporcionalidad;

DR máximo: máximo del índice de densidad relativa;

FH máximo: máximo del factor de altura.

La hipótesis planteada, y probada para pino oregón, establece que el mismo valor de factor de proporcionalidad (F), es válido para establecer la relación de proporcionalidad (Fo) en la etapa anterior a alcanzar la altura H', con lo cual se puede establecer (6):

$$DR_i = F \times FH_i \quad (6)$$

Donde:

DR_i: densidad relativa al momento definido por la altura H_i;

F: Factor de proporcionalidad de la especie;

FH_i: Factor de altura al momento definido por la altura H_i.

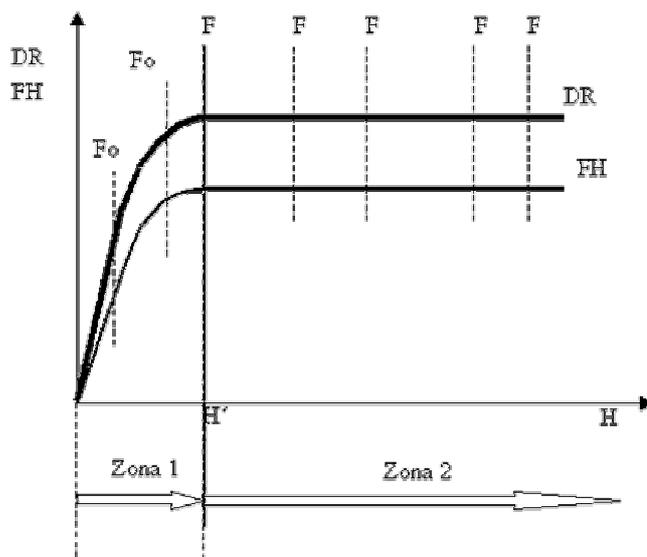


Figura 1. Evolución de los índices de densidad relativa (DR) y factor de altura (FH), de un mismo rodal, en función de la altura dominante (H). A la altura H' se alcanzan los valores máximos de cada índice de densidad y a partir de allí opera plenamente el autorraleo por competencia, manteniendo aproximadamente ese valor máximo (Zona 2). La relación entre ambos índices, denominada factor de proporcionalidad (F), se mantiene constante para cualquier valor de altura superior a H' . La hipótesis de trabajo plantea que en la Zona 1, donde la mortalidad por competencia intra-específica es nula o muy baja, se cumple la proporcionalidad (F_0), y que esta es igual a la establecida para la Zona 2 ($F_0=F$)

El motivo para elegir al factor de altura como elemento predictor de la densidad relativa, obedece a que es un índice simple de modelar. De la ecuación que lo define (3), se observa que depende por una parte de la altura dominante, la cual es accesible al disponer de las curvas necesarias para su proyección, y por otra del espaciamiento medio, el cual no variará mientras no haya cambio en el número de individuos (4). Por ser rodales logrados por plantación, no existirá incorporación, y en períodos cortos de proyección la mortalidad por competencia será prácticamente nula, por lo cual puede considerarse que el espaciamiento será constante en ese período y por lo tanto el factor de altura dependerá exclusivamente del desarrollo en altura dominante.

Al probar la expresión (6) sobre la muestra disponible, Andenmatten (1999) encontró resultados satisfactorios en la estimación de la densidad relativa, analizada con pruebas estadísticas sobre el total de la muestra de parcelas. Sin embargo, encontró que a nivel de casos individuales existían algunas parcelas con apartamientos importantes entre los valores estimados y observados de densidad relativa. Esto es entendible ya que la muestra contenía rodales intervenidos silvícolamente, en los cuales la relación entre la densidad relativa y el factor de altura se altera por la decisión de silvicultor.

Para resolver este problema, propuso una modificación que permitiera un mejor control de la proyección de la densidad, expresada en la ecuación (7):

$$DR_2 = DR_1 + F \times (FH_2 - FH_1) \quad (7)$$

Donde:

DR; F y FH: según lo definido anteriormente;

1 y 2: momento inicial y final del período de proyección.

En este caso, a la densidad inicial, calculada a partir de los datos del inventario, se le agrega el cambio en densidad que corresponde al cambio en el factor de altura. El factor de altura inicial (FH_1) se calcula a partir de los datos de inventario y el factor de altura final (FH_2) se puede proyectar según lo ya explicado, siendo el único elemento que requiere ser proyectado, y dependerá del valor final de la altura dominante (H_2), bajo la condición que no hay cambio en el número de individuos.

Puede observarse que tanto la expresión (6) como la expresión (7) permiten estimar el valor de densidad relativa. Sin embargo entre ambas existe diferencia de cantidad y calidad de información necesaria para su cálculo. Andenmatten (1999) propuso llamar a las estimaciones futuras que emplean la ecuación (6), con el nombre de predicción, que significa “algo que ha de suceder” según el diccionario de la lengua española (Sopena, 1987), y cuando se emplea la ecuación (7), con el nombre de proyección, que significa “lanzar algo adelante” (Sopena, 1987). Puede parecer trivial, pero no lo es a la hora de establecer la precisión necesaria para un estudio, ya que uno requerirá menor detalle de información (con pérdida de precisión), y el otro de mayor nivel de información (con mayor costo).

Otra forma de explicar el concepto es que, utilizando (1) y (6) en conjunto con las curvas de crecimiento en altura se puede predecir el Rendimiento en cualquiera momento del desarrollo de un rodal, y debe notarse que esta predicción no depende del estado anterior a la misma. Por otra parte en términos de la teoría de Estados y Transiciones, es posible a partir de un estado inicial y mediante una función de transición apropiada definir o proyectar un estado final (García, 1994; Vanclay, 1994), por lo que la proyección es dependiente de un estado inicial y no así la predicción.

Determinación de los máximos para los índices de densidad relativa y factor de altura y, cálculo del factor de proporcionalidad

Sobre la base de la información colectada en el inventario de las parcelas, se calcularon los valores de ambos índices para cada parcela, tanto para el inventario inicial como para el inventario final. Esto implica disponer de una base que incluye valores correspondientes a diferentes edades y condiciones, donde solo algunas parcelas alcanzarán el máximo de los índices. Para seleccionar el valor correspondiente al máximo, se siguió el criterio utilizado por Andenmatten (1999), que parte de suponer que las muestras de ambos índices de densidad se distribuyen normalmente. Se toma como máximo, al valor correspondiente al promedio de la muestra más dos desvíos estándar (8 y 9):

$$DR_{\text{máximo}} = DR_{\text{promedio}} + (2 \times de) \quad (8)$$

$$FH_{\text{máximo}} = FH_{\text{promedio}} + (2 \times de) \quad (9)$$

Donde:

DR y FH: según lo explicado anteriormente;

d.e.: desvío estándar de la muestra.

Una vez establecidos estos máximos, se procede a calcular el factor de proporcionalidad según la expresión (5)

Prueba de bondad de la predicción y proyección

Para probar la bondad de la predicción y proyección, se siguió el siguiente procedimiento. Para la predicción de la densidad relativa, se aplicó la expresión (6). De este modo, para cada parcela de la muestra se dispuso de la densidad estimada y observada ($n=87$). El resultado sobre el total de las parcelas se analizó utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras al 5 % de nivel de significancia (Steel y Torrie, 1993).

Para la proyección de la densidad relativa se siguió el mismo procedimiento, aplicando (7) y al ser importante la estimación de volumen de cada parcela en particular, se procedió a comparar los volúmenes proyectados, utilizando en la expresión de volumen de rodal (1), el valor de altura final y de las densidades relativas finales, estimada y observada ($n=15$). Esta comparación se hizo para cada parcela en particular, estableciendo la diferencia en metros cúbicos y, en por ciento respecto del volumen estimado. Aunque a nivel de parcela individual no puede establecerse un criterio único para decidir si el resultado de la estimación es correcto, permite poner de relieve la magnitud individual de las diferencias encontradas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valores máximos de los índices de densidad y factor de altura

Del análisis de valores de densidad relativa y factor de altura de cada inventario, calculados a partir de los datos observados, surgen los valores promedios y sus desvíos estándares (Tabla 2):

Tabla 2. Promedios y desvíos estándar calculados para DR y FH ($n=87$).

	DR	FH
Promedio	10,42	5,14
Desvío estándar	5,54	2,65

Por lo tanto los valores máximos serán:

$$\text{DR máximo} = 10,42 + 2 \times 5,54 = 21,50 \quad (10)$$

$$\text{FH máximo} = 5,14 + 2 \times 2,65 = 10,44 \quad (11)$$

Que determinan el factor de proporcionalidad (10),

$$F = \frac{\text{DR}_{\text{max}}}{\text{FH}_{\text{max}}} = \frac{21,50}{10,44} = 2,06 \quad (12)$$

Predicción del rendimiento

Mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para dos muestras, al 5% de nivel de significancia se compararon las distribuciones de valores de “DR observados” y “DR estimados” utilizando (6) (Tabla 3), y surge que no hay elementos que permitan establecer que las distribuciones puedan considerarse de distintas poblaciones. Resultados similares se hallaron al efectuar la misma prueba a los valores de volumen observado vs. estimado (Tabla 3), calculados empleando la expresión (1). Asimismo para la relación lineal entre DR observada vs DR estimada, los valores $R^2=0,74$, de pendiente ($b=0,87$) y ordenada ($a=1,8$), permiten evaluar, subjetivamente, como aceptable la bondad

de ajuste y sesgo de la estimación de densidad relativa (figura 2), con una tendencia a subestimar valores altos de la misma.

Tabla 3. Estadísticos “C” de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para dos muestras, al 5% de nivel de significancia para valores estimados mediante (6), $DR=2,06*FH$. (n=87)

Muestras	“C”, valor crítico de tabla	“C”, valor calculado para las muestras
DR obs vs. DR est	0,206	0,115
V obs vs. Vest	0,206	0,092

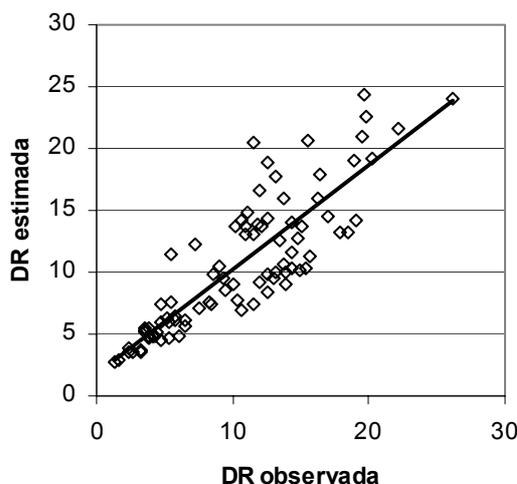


Figura 2. DR observado vs. DR estimado, pendiente = 0,87, ordenada= 1,8; $R^2=0,74$ (n=87)

Se destaca, que el valor, densidad relativa máximo ($DR_{m\acute{a}ximo}=21,5$), es similar al establecido por Gonda (1998), para la misma especie en plantaciones ubicadas al norte del \u00e1rea de este estudio, en la provincia de Neuqu\u00e9n ($DR_{m\acute{a}xima}=20$), corroborando la alta capacidad de carga que admiten los sitios de la regi\u00f3n, en relaci\u00f3n a los sitios donde la especie crece originalmente.

Proyecci\u00f3n del rendimiento

Como se mencion\u00f3 arriba, se utiliza el t\u00e9rmino proyecci\u00f3n para expresar el cambio a partir de par\u00e1metros conocidos con mayor grado de informaci\u00f3n. Para la muestra que solo considera parcelas de las que se dispone informaci\u00f3n de su estado al inicio y fin del per\u00edodo de proyecci\u00f3n, sin cambio en el n\u00famero de individuos, se presentan los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 4), aceptando que ambas distribuciones pertenecen a la misma poblaci\u00f3n, tanto en el an\u00e1lisis de la estimaci\u00f3n de la densidad relativa como en su empleo para estimar el volumen del rodal.

Tabla 4. Estadísticos “C” de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para dos muestras, al 5% de nivel de significancia para valores estimados vs. observados, de densidad relativa y volumen. (n=15)

Muestras	“C”, valor crítico de tabla	“C”, valor calculado para las muestras
DR ₂ obs vs. DR ₂ est	0,466	0,133
V ₂ -est vs. V ₂ -obs	0,466	0,133

Las proyecciones a nivel de cada parcela, se presentan en el ANEXO 1, especificando los parámetros observados al final del período de proyección (altura dominante, edad, largo del período de proyección, número de individuos, área basal y volumen) y, se agregan los parámetros proyectados al final del período utilizando (7). Las diferencias presentan una media de 0,099 m³/ha (d.s.=3,89), con una diferencia máxima de (-7 %) para un período de 20 años, considerado fuera del rango habitual para estas proyecciones, que al decir de Torrubiano *et al.*, (1995) y Ritchie y Hann (1997) no son mayores a 5-10 años en masas sometidas a Silvicultura intensiva.

4. CONCLUSIONES

En masas de *Pinus ponderosa* (Dougl.) Laws, implantadas en las provincias de Chubut y Río Negro, Región Andino Patagónica, es factible aplicar el vínculo entre los índices de densidad relativa y factor de altura, para predecir y proyectar rendimiento. Los resultados logrados superaron las pruebas estadísticas planteadas, aunque siempre debe insistirse en la necesidad de validar los coeficientes y funciones por región, debido a la importante influencia que tienen sobre la estimación del volumen. A nivel de parcelas individuales, la diferencia en volumen observado-estimado se mantuvo por debajo de 7 %. El método es de fácil aplicación, no requiere de soporte magnético sofisticado por utilizar funciones simples, y presenta flexibilidad y precisión para modelar una gran variedad de situaciones, incluso en aquellos casos donde se desee analizar la aplicación de distintos tipos de raleos (por lo alto, bajo u otro). Esta sencillez de aplicación permite realizar numerosas simulaciones que luego pueden ser utilizadas como insumos en el análisis económico-financiero de la actividad de forestación.

Esta nueva comprobación del método desarrollado sobre una aplicación de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco, basado en el empleo del vínculo entre los índices de densidad, hace suponer que otras especies de coníferas pueden ser modeladas del mismo modo, logrando una interpretación con base biológica, que ayuda a pensar cuando se intenta comprender como evolucionan las masas forestales. Las diferencias máximas encontradas en los resultados están en el orden del 7% de volumen, para proyecciones que no superen períodos de 10 años, valor que se considera similar al error que puede encontrarse en muestreos operativos. Por último, se confirman altos valores para la densidad relativa máxima, que corroboran la alta capacidad de producción de los sitios en Patagonia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado mediante fondos propios del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, y aportes de la Asociación Cooperadora de la EEA Bariloche-INTA. Se agradece la participación de los técnicos forestales, Cristian Jiménez y Nicolás Deagostini, en distintas etapas de recolección y procesamiento de la información, y muy especialmente a los propietarios de plantaciones que nos permitieron acceder para instalar parcelas de estudio.

REFERENCIAS

- Andenmatten, E. 1999. "Proyección de Tablas de Rodal para pino oregón en la región Andino-Patagónica, de las provincias de Chubut y Río Negro, Argentina". Tesis Maestría. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 63 p.
- Andenmatten, E.; F.J. Letourneau. 1997a. "Curvas de índice de sitio para *Pinus ponderosa* (Dougl.) Law, de aplicación en la región Andino Patagónica de Chubut y Río Negro, Argentina". *Bosque* (18)2:13-18.
- Andenmatten, E.; F.J. Letourneau. 1997b. "Tablas de rodal para pino ponderosa y pino oregón en la región Andino Patagónica de las provincias de Chubut y Río Negro, Argentina". *Actas IUFRO Conference, Modelling growth of fast-grown tree species*. Alicia Ortega y Salvador Gezan editores. Valdivia. Chile. 146-154
- Andenmatten, E.; F.J. Letourneau; A. Ortega. 1997. "Vínculo entre Densidad Relativa y Factor de Espaciamento y su relación con la Altura Dominante". *Actas IUFRO Conference, Modelling growth of fast-grown tree species*. Alicia Ortega y Salvador Gezan editores. Valdivia. Chile. 265-276.
- Andenmatten, E.; F.J. Letourneau. 1998. "Estimación de alturas para su empleo en tablas de volumen de árbol individual". *Rev. Quebracho* (6): 27-33.
- Andenmatten, E.; M. Rey; F.J. Letourneau. 1995. "Pino ponderosa (*Pinus ponderosa*)(Dougl.)Laws. Tabla de volumen estándar de aplicación en la región Andina de Río Negro y Chubut". *Actas IV Jornadas Forestales Andino Patagónicas*. M.I. Zingoni editora. San Martín de los Andes, Neuquén, Argentina. 266-271.
- Assmann, E. 1970. "The principles of Forest Yeild Study". Pergamon Press Ltd. 503 p.
- Colmet-Daage, F.; M.L. Lanciotti; A.A. Marcolin. 1995. "Importancia forestal de los suelos volcánicos de la Patagonia Norte y Central". INTA-SAGyP. Argentina. 27 p.
- Cordón, V.; J. Forquera; J. Gastiazoro. 1993. "Estudio microclimático del Área 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 p.
- Curtis, R.O. 1982. "A Simple Index of Stand Density for Douglas-fir". *For. Sc.* Vol. 27 (1): 92-94.
- Dezotti, A.; L. Sancholuz. 1991. "Los bosques de *Austrocedrus chilensis* en Argentina: ubicación, estructura y crecimiento". *Rev. Bosques* 12 (2): 43-52.
- Díaz, A. 1997. "Forestar en Patagonia". Ed. CIEFAP-GTZ-INTA. Argentina. 14 p.
- García, O. 1994. "El enfoque del espacio de estados y transiciones en modelos de crecimiento" ("The State-Space approach in growth modelling". *Can. Jr. For. Res.* 24:1894-1903). Traducción de O. García.
- Gonda, H.E. 1998. "Height-Diameter and Volume Equations, Growth Intercept and Needle Length Site Quality Indicators, and Yield Equations for Young Ponderosa Pine Plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina". Tesis de grado PhD. Oregon State University. 198 p.
- Mendía J.M.; J.Irisarri. 1986. "Relevamiento de suelos con aptitud forestal en la región occidental de la provincia de Río Negro". Inédito. Consejo Federal de Inversiones. Argentina. 150 p.
- Mitchell, K.J.; I.R. 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. 69 p.
- Ladrach, W. E. 1999. "Argentina, oportunidades de inversión en bosques cultivados". Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Ministerio de Economía. Argentina. 210 p. 2 Anexos.
- Prodan, M.; R. Peters; F. Cox; P. Real. 1997. "Mensura forestal". Ed. IICA. 586 p.
- Reineke, L.H. 1933. "Perfecting a stand-density index for even-aged forests". *Jr. of Agricultural Research*. Vol. 46:627-638.
- Ritchie, M.W.; D.W. Hann. 1997. "Evaluation of individual-tree and disaggregative prediction methods for Douglas-fir stands in western Oregon". *Can. Jr. For. Res.* 27: 207-216.
- SAGPyA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 2001a. "Argentina: Inventario nacional de plantaciones forestales". Buenos Aires. 63 p.

- SAGPyA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 2001b. "Primer inventario de plantaciones forestales en macizo". P 2-9. SAGPyA Forestal. N° 20. Septiembre 2001. Buenos Aires.
- SOPENA, 1987. "Novísima enciclopedia ilustrada". 2 ed. Río de la Plata, S.A. 3 tomos. 1629 p.
- Steel, R.G.D.; J.H. Torrie. 1993. "Bioestadística: principios y procedimientos". 2ed. McGraw-Hill. 613 p.
- Torrubiano, C.; H. Salinas; A. Ortega. 1995: "Metodologías de proyección de tabla de rodal". Fundación Chile, documento de trabajo N° 30, Proyecto Modelo Nacional de Simulación de Pino Radiata. 25 p.
- Vanclay, J.K. 1994. "Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests". CAB International. 310 p.

ANEXO 1: Resultados de aplicar la proyección de la densidad relativa (DR2est), para proyectar área basal y volumen del rodal

N° parc	H (m)	IS20 (m)	N (pl/ha)	EAP (años)	Período (años)	DR (Obs.)	DR2est	G (m2/ha)	G2est (m2/ha)	V(1) (m3/ha)	V(2) (m3/ha)	Dif% V (%)
	Obs.	Obs.	Obs.	Obs.	Obs.	Obs.		Obs.				
1	35,7	19,7	819	44	8	15,4	15,8	96	99,1	1142	1170	2
2	22,2	13,3	1221	40	7	13,8	13,6	73	70,9	642	632	-2
3	10,3	12,3	848	16	3	5,8	5,4	26	23,6	135	126	-7
4	20,7	13,1	1067	37	3	11,8	12,3	62	65,1	519	539	4
5	16,5	13,8	1700	25	3	14,3	14,8	68	70,9	491	506	3
6	12,3	12,8	545	19	3	4,8	4,4	23	20,6	133	124	-7
7	20,1	13,0	1168	36	3	19,0	18,8	112	110,4	778	770	-1
8	24,0	16,0	1789	34	4	19,5	20,7	101	109,2	953	1005	6
9	11,4	15,3	756	14	4	5,7	5,9	25,9	27,4	144	150	4
10	11,7	9,9	2225	25	4	15,6	15,3	69,7	67,7	377	370	2
11	26,2	16,4	1130	37	5	16,1	16,3	90,8	92,8	869	882	1
12	28,6	16,4	969	42	5	16,6	15,8	99,8	93,8	979	938	-4
13	37,3	16,4	865	62	20	19,8	20,5	131,0	137,0	1498	1546	3
14	24,9	14,3	891	42	2	11,0	11,1	59	60,0	581	588	1
15	23,1	13,8	873	40	3	10,6	10,6	56,6	56,5	520	520	0

Donde:

Obs.: indica las columnas que contienen datos observados. N° parc: número de orden de la parcela.; H: altura dominante; IS20: índice de sitio; N: número de plantas (plantas / ha); EAP: edad a la altura del pecho; Período: amplitud del período de proyección; DR: densidad relativa (Curtis, 1982), valor observado; DR2 est: densidad relativa estimada; G: área basal, valor observado; G2 est: área basal estimada; V(1): volumen del rodal al fin del período, utilizando la tabla de rodal (1), con la "densidad relativa observada" al fin del período; V(2): volumen del rodal al fin del período, utilizando la tabla de rodal (1), con la "densidad relativa estimada" al final del período; Dif% V: diferencia de volumen (V1-V2), en por ciento, tomando como base el volumen estimado (V2).

