

El largo de las acículas como indicador de la calidad de sitio en plantaciones de pino ponderosa en Neuquén

Héctor E. Gonda, Área Conservación y Manejo de Bosques, CIEFAP.
Margaret A. McAndrews, Ingeniera Forestal.

Gustavo O. Cortés, Prof. Carrera Téc. Forestal, Universidad Nac. del Comahue.

Introducción

Importancia del Pino Ponderosa en la Patagonia Andina

Actualmente en la precordillera andina de Neuquén, Río Negro y Chubut hay aproximadamente 70.000 hectáreas plantadas con coníferas exóticas entre las cuales el pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws) representa más del 70% de esta superficie (Díaz 1997, SAGPyA 2001). Esta especie crece vigorosamente en ausencia de importantes agentes patógenos y en la provincia de Neuquén, donde se encuentra la mayor parte de las plantaciones, la productividad de estos bosques es igual o superior a la observada en los rodales del norte de California, una de las regiones de los Estados Unidos donde la especie presenta altos crecimientos (Gonda et al., 1998 a y b). Dado que en el norte de los Andes Patagónicos aún existen unas 2.250.000 hectáreas de pastizales aptos para el cultivo de forestaciones comerciales (Mendía e Irizarri, 1986; Ferrer et al., 1990; Díaz 1997, SAGPyA 2001), la instalación y adecuado manejo de una mayor superficie de bosques productivos puede contribuir significativamente al desarrollo socio económico de esta región.

La Calidad de Sitio

Para planificar el manejo de las plantaciones es necesario conocer la calidad de sitio de las mismas. En términos forestales se denomina sitio al espacio donde crecen los árboles, por lo tanto este incluye no solo las características físicas, químicas y biológicas del suelo, sino también la precipitación, la temperatura, la humedad del aire, el viento, etc. Para predecir la productividad y el crecimiento de los rodales se debe conocer la calidad de sitio, o sea cuán bueno es un sitio para el desarrollo de una especie determinada. Existen distintos métodos

para determinarla, cada uno con sus ventajas y desventajas.

El Largo de las Acículas

Método Ideal en Plantaciones muy Jóvenes

En Neuquén la calidad de sitio de las plantaciones de pino ponderosa se puede determinar utilizando un índice que se basa en el largo de los cinco entrenudos ubicados por encima de la altura del pecho (Gonda et al., 1998c). Su aplicación se describe detalladamente en la Publicación Técnica 30 del CIEFAP (Gonda y Cortés, 2001). En las provincias de Río Negro y Chubut la calidad de sitio de las plantaciones de la misma especie se puede determinar utilizando el índice de sitio (Andenmatten y Letourneau, 1997) o estimando el mismo en base al largo de los entrenudos (Andenmatten y Letourneau, 1998). Sin embargo ninguno de los dos métodos es adecuado para plantaciones muy jóvenes de menos de 10 años de edad. La utilización del índice de sitio sólo se recomienda para plantaciones de más de 10 años de edad porque:

- En rodales jóvenes la altura total está fuertemente influenciada por el crecimiento errático de los primeros años debido al efecto más o menos fuerte de la vegetación competitiva, la fluctuación anual en la precipitación, el posible ataque de liebre, el daño producido por heladas tardías o tempranas, etc.
- Un pequeño error de cálculo en la edad del rodal de tan sólo uno o dos años representa una importante sub o sobre estimación de la calidad de sitio, dado lo reducido de la edad total.

El índice de entrenudos no se puede aplicar en plantaciones muy jóvenes porque los árboles no desarrollan cinco entrenudos por encima de la altura del pe-

cho hasta que alcanzan una edad de 9 a 11 años según los sitios (Gonda et al., 1998c). Por lo tanto el índice no se puede aplicar hasta que las plantaciones alcanzan esas edades. Uno de los parámetros del árbol que permitiría determinar la calidad de sitio de plantaciones muy jóvenes es el largo de las acículas. Para que esto sea posible, el largo de las mismas debe mantenerse constante a lo largo de la vida del rodal. En otras palabras, el efecto de la calidad de sitio sobre el largo de las acículas debe ser superior al producido por la variabilidad genética, las fluctuaciones climáticas, y los tratamientos como raleos, podas, etc.

Antecedentes

Varios estudios demuestran que el largo de los brotes y las acículas de varias especies de coníferas pueden ser afectados por factores ambientales. En el caso del pino ponderosa, en los estados de Oregón y California, la eliminación o disminución de la vegetación competitiva aumenta el largo de las acículas (Doeschner et al., 1989; McDonald et al. 1992; McDonald y Fiddler, 1990). Dos antecedentes fundamentales son el hecho de que el largo de las acículas del pino ponderosa está positivamente correlacionado con el crecimiento en altura, y por lo tanto con la productividad (Squillance and Silen, 1962) y que el largo de las acículas de plántulas de un año de edad es un buen indicador del crecimiento futuro (McDonald et al., 1992). En la provincia de Neuquén se realizaron dos estudios para determinar si era posible predecir la calidad de sitio de las plantaciones de pino ponderosa a partir del largo de sus acículas. En 1996 Gonda y colaboradores (1998d) realizaron el primer estudio como parte de la tesis de doctorado del primer autor. En 1998, Margaret McAndrews (1999) profundizó el estudio como su tesis de grado en la Universidad del Estado de Oregón, bajo la dirección de Douglas Maguire y Héctor Gonda.

Objetivo

El objetivo de esta Ficha Técnica es presentar los principales antecedentes, metodología y resultados del estudio desarrollado por McAndrews (1999). Este demuestra que el largo de las acículas puede ser un buen indicador de la calidad de sitio de las plantaciones de pino ponderosa de Neuquén.

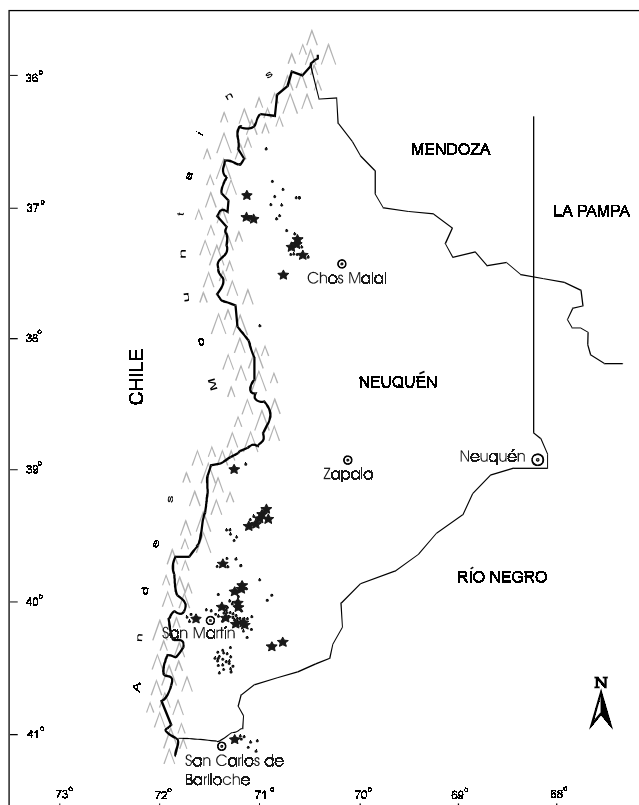
Métodos

En esta Ficha Técnica se incluyen fundamentalmente los resultados del trabajo realizado por McAndrews (1999) porque este se basó en una mayor base de datos e incluyó mediciones más detalladas sugeridas por los resultados del primer estudio (Gonda *et al.* 1998d). El objetivo de su trabajo fue determinar si el largo de las acículas era un buen indicador de la altura dominante y por lo tanto de la calidad de sitio en plantaciones de pino ponderosa en la provincia de Neuquén. Realizó el estudio solamente en plantaciones de 20 años de edad, ya que no existía una cantidad suficiente de plantaciones ni recursos económicos como para realizar el estudio en rodales de otras edades.

Parcelas

Los datos que se utilizaron para el estudio de las acículas se obtuvieron de 30 parcelas que forman parte de 127 parcelas permanentes establecidas en plantaciones de la provincia de Neuquén en 1996 por el proyecto Calidad de Sitio y Productividad del Pino Ponderosa del CIEFAP (Figura 1). Cada una de estas 127 parcelas están ubicadas en un rodal distinto para cubrir la variabilidad determinada por la variación en la calidad de sitio, edad y densidad de las plantaciones en la provincia. Ninguna de las plantaciones muestreadas presenta daños importantes de enfermedades, insectos o nieve. Es importante mencionar que las 127 parcelas se establecieron exclusivamente en plantaciones de pino ponderosa de la variedad ponderosa. Los pocos rodales de la variedad *scopulorum* no se muestrearon porque ésta se ha dejado de plantar debido a su lento crecimiento. Además, los individuos de la variedad *scopulorum* generalmente tienen hojas más cortas, lo que habría requerido realizar el estudio de las acículas por separado. Entre las 127 parcelas permanentes McAndrews (1999) eligió para el estudio de las

Figura 1. Mapa de la provincia de Neuquén mostrando la ubicación de las 127 parcelas permanentes instaladas en 1996 para el proyecto Calidad de Sitio y Productividad del Pino Ponderosa (puntos) y las 30 parcelas medidas en 1998 para el proyecto del largo de acículas (estrellas).



acículas las parcelas que en el año 1998 tenían entre 18 y 22 años de edad que sumaron 30. Estas 30 parcelas cubren casi el mismo rango de latitud, longitud, elevación y exposición que el total de las 127 parcelas, pero no alcanzan los valores superiores de los rangos de precipitación y pendiente. Esto no se considera un problema ya que difícilmente se plante pino ponderosa en lugares con precipitación de más de 1400 mm, porque en ellos generalmente existe bosque nativo, ni en lugares con pendientes superiores a los 22°, debido lo costoso que sería el aprovechamiento (Cuadro 1).

Mediciones

En cada parcela se midió el diámetro a la altura del pecho (1,3 m) del total de árboles y la altura de la mayoría de ellos para poder identificar los 200 individuos más gruesos y más altos por hectárea. En estos árboles se midió el largo de las acículas en el quinto verticilo de ramas desde el ápice hacia abajo. Se eligió el quinto verticilo porque era el más alto entre los que contenían acículas de cinco años de edad. Se midieron las acículas de la parte superior del árbol para evitar que su desarrollo pueda ser afectado por la sombra de ramas superiores o de árboles vecinos. Las mediciones se realizaron en

dos ramas del verticilo; aquellas que presentaban una exposición lo más similar al noroeste y al sudeste. Se escogieron las dos exposiciones extremas, o sea la más protegida y la menos protegida, para determinar si la exposición tiene un efecto sobre la capacidad de las acículas de reflejar la calidad de sitio. En estas ramas se midió el largo promedio de 10 fascículos de 1, 2, 3, 4 y 5 años de edad, ubicados en la rama primaria. La medición se realizó al milímetro utilizando regla. Si había menos de 10 fascículos de alguna edad se promediaba el largo de los mismos, siempre y cuando hubiera más de cinco.

Análisis

La altura de los árboles de las parcelas de 18, 19, 21 y 22 años de edad se interpolaron o extrapolaron a los 20 años. Se analizó si había diferencias en el largo de las acículas entre las dos exposiciones mediante un test de "t" considerando las plantaciones, las parcelas y los árboles como unidades experimentales. Se determinó si un mayor número de clases de edad de las acículas mejoraba la predicción de la altura dominante. Para este análisis las variables predictoras fueron la media del largo de las acículas de cada parcela por cada clase de edad y exposi-



Cuadro 1. Valores mínimos, medios y máximos de latitud, longitud, elevación (elev), pendiente (pend), profundidad efectiva del suelo (prof efec suelo) y precipitación anual (precip) de las 30 parcelas utilizadas para el estudio de las acículas (McAndrews 1999) y del total de las 127 parcelas permanentes instaladas en plantaciones de pino ponderosa en la provincia de Neuquén en el año 1996 (Gonda et al. 1998d) para el proyecto Calidad de Sitio y Productividad del Pino Ponderosa (CSPPP).

Estudio	Parcelas	Valores del rango	Latitud	Longitud	Elev	Pend	Prof efec suelo	Precip
Acículas	30	Mínimo	36°51'57"	70°36'31"	775	0	0,4	400
		Medio	39°27'41"	70°22'54"	1079	10	1,0	836
		Máximo	41°03'36"	71°16'19"	1675	22	1,8	1400
Proyecto CSPPP	107	Mínimo	36°30'00"	70°45'22"	645	0	0,4	400
		Medio	38°47'58"	70°04'18"	1059	8,6	1,0	929
		Máximo	41°05'57"	71°33'15"	1715	30	1,8	2500

ción y todas las combinaciones posibles de 2, 3, 4 y 5 clases de edad por exposición. El análisis se realizó para cuatro variables de respuesta: la altura media de los 100 y 200 árboles más gruesos por hectárea y la altura media de los 100 y 200 árboles más altos por hectárea. Las ecuaciones se ajustaron utilizando regresión ponderada y se compararon en base al coeficiente de determinación (R^2).

Resultados y Discusión

El largo de las acículas no varió entre las dos exposiciones estudiadas. La predicción de la altura dominante fue más exacta cuanto mayor era el número de clases de edad de las acículas. Esto se debe al hecho de que al considerar un número mayor de clases de edad, se atenúa el efecto de las importantes fluctuaciones anuales del largo de las acículas debido a las variaciones del clima, sobre todo la cantidad y distribución de la precipitación a lo largo del año. El largo de las acículas predice mejor la altura de los 200 individuos más grandes por hectárea ($R^2=0,7$) que la altura de los 100 individuos más grandes por hectárea ($R^2=0,6$), ya sea en términos de la altura o el diámetro.

En base a estos resultados se ajustó una ecuación final que permite predecir la altura dominante del rodal en función del largo de las acículas. Esta ecuación se ajustó con los datos de las acículas ubicadas sobre la rama con exposición sudeste porque al estar más protegida es menos probable que falten acículas de alguna de las clases de edad. Se tomó el largo promedio de las acículas de cuatro clases

de edad. A pesar de que considerar el largo de las acículas de cinco clases de edad tendría menos error, los árboles a menudo pierden las acículas de cinco años. Aún cuando el largo de las acículas predice con mayor exactitud la altura de los 200 individuos más grandes por hectárea, se prefirió ajustar la ecuación final tomando la altura de los 100 individuos más gruesos por hectárea como variable de respuesta. De esta manera se miden las acículas en un menor número de árboles y además estos individuos generalmente son los que se miden en la región para determinar la calidad de sitio, ya sea para calcular el índice de sitio o el índice de los entrenudos.

$$H_{100} = -4,194 + 0,8544 \text{ ACÍCULAS}$$

donde:

$$\text{Error Cuadrático Medio} = 2,33 \quad R^2 = 0,56$$

$$H_{100(\text{edad } 20)} = \text{altura promedio de los 100 árboles más gruesos/ha a los 20 años (m)}$$

$$\text{ACÍCULAS} = \text{longitud promedio de las acículas de los últimos 4 años (cm)}$$

En base al rango de las longitudes de acículas observadas se elaboró un índice del largo de acículas para las plantaciones de pino ponderosa en la provincia de Neuquén. Los valores de este índice se corresponden con valores del índice de entrenudos y se puede determinar qué altura dominante y qué crecimiento medio en altura corresponde a cada uno de sus valores (Cuadro 2).

El estudio no pretendió determinar por qué el largo de las acículas resulta ser un buen indicador de la calidad de sitio de las plantaciones de pino ponderosa en Neuquén. Sin embargo una de las causas

Cuadro 2. Doce valores del índice de acículas (ACÍCULAS) con los correspondientes valores del índice de entrenudos (ENTRENUDOS), de la altura dominante expresada como la altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea (H_{100}) a los 20 años, y del incremento medio anual de dicha altura (IMA de H_{100}).

Acículas (cm)	Entrenudos (m)	H_{100} (m)	IMA de H_{100} (m)
24	4,9	16,3	0,82
23	4,7	15,5	0,77
22	4,5	14,6	0,73
21	4,4	13,7	0,69
20	4,2	12,9	0,64
19	4,0	12,0	0,60
18	3,7	11,2	0,56
17	3,5	10,3	0,52
16	3,3	9,5	0,47
15	3,0	8,6	0,43
14	2,7	7,8	0,39
13	2,4	6,9	0,35
12	2,0	6,1	0,30
11	1,6	5,2	0,26
10	1,0	4,3	0,22

podría ser la escasa variabilidad genética de las plantaciones de pino ponderosa de Neuquén en comparación con su zona de origen en el oeste de los Estados Unidos y Canadá. Una alta proporción de la semilla que dio origen a las plantaciones que en el año 1998 tenían 20 años de edad, provino de la estancia Quechuquina (Hoepke, comunicación personal).

Aplicación

Determine el tamaño y forma aproximado del rodal y ubique un punto al azar dentro del mismo. Repita la operación si este punto cayó en un lugar donde la plantación presenta características inusuales respecto del resto del rodal en cuanto a densidad, sanidad, vitalidad, etc. Establezca una parcela circular o cuadrada que incluya por lo menos 40 árboles. Dentro de esta elija los 100 árboles más gruesos por hectárea y en cada uno de ellos mida el largo de las acículas. Es importante elegir los árboles más gruesos porque de lo contrario se subestimaría la productividad. Para medir las acículas ubique la quinta rama, desde el ápice hacia abajo, que tenga la orientación más aproximada a la dirección sudeste (Figura 2). Sobre esta rama mida el largo promedio de 10 fascículos de las acículas de 1, 2, 3 y 4 años de edad ubicadas sobre su parte central (Figura 2) y luego prome-

die esos 4 valores. Por último promedie el largo promedio de las acículas de cada árbol. Para saber cuál es el índice de acículas o que altura tendrá el rodal a los 20 años use la ecuación o el cuadro correspondiente (Cuadro 2).

Conclusión

Determinar la calidad de sitio en función del largo de las acículas es práctico sólo en plantaciones jóvenes de menos de 10 años de edad, donde las acículas se pueden alcanzar sin la necesidad de utilizar escaleras. Además es justamente este tipo de plantaciones donde el índice de sitio y el de entrenudos no se pueden aplicar por las razones mencionadas anteriormente. Los resultados de los estudios resumidos en esta ficha técnica no permiten asegurar que el índice de acículas puede predecir correctamente la calidad de sitio de plantaciones jóvenes, ya que su aplicación sólo se estudió en plantaciones de 20 años de edad. Para poder afirmar que el índice de acículas brinda buenas predicciones de la calidad de sitio en plantaciones jóvenes, el largo de las acículas debería ser constante a lo largo de la vida del rodal. Para analizar esta hipótesis es necesario realizar estudios midiendo el largo de las acículas durante un largo periodo de tiempo en las mismas parcelas o comparar el largo de las acículas de árboles ubicados en rodales regenerados naturalmente con el de individuos del rodal que les dio origen. Una dato alentador es que en los alrededores de varias plantaciones muestreadas se

observó regeneración natural y sus individuos dominantes presentaban un largo de acículas muy similar al de los del índice de acículas del rodal madre. Por lo tanto en la actualidad, mientras no aparezca un método alternativo, la utilización del índice de acículas permitiría tener una estimación aproximada de la calidad de sitio de rodales muy jóvenes, pero es imprescindible tener en cuenta su carácter de preliminar. El productor que tenga plantaciones jóvenes de un tamaño que permita estimar en forma práctica el índice de acículas y de entrenudos puede determinar si la predicción de la calidad de sitio basándose en el índice de acículas es aceptable. Para esto solo debe comparar si el valor de este último índice se corresponde con el que valor del índice de entrenudos contenido en el Cuadro 2.

Bibliografía

- Andenmatten E y F. Letourneau. 1997. 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. Chile.
- Andenmatten E. y F. Letourneau. 1998. Funciones de intercepción de crecimiento para predicción de índice de sitio en pino ponderosa de aplicación en la región andino patagónica de Río Negro y Chubut. *Quebracho*(5) 5-9 1997. Revista de la Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina.
- Díaz A. 1997. *Forestar en Patagonia*, Argentina. CIEFAP, GTZ, INTA. 14 p.
- Doescher P.S., Tesch S.D. y W.E. Drewien. 1989. Water relations and growth of conifer seedlings during three years of cattle grazing on a southwest Oregon plantation. *Northwest science*. Vol. 63, Nº 5, 232-239.

- Ferrer J.A., Irisarri J.A., y J.M. Mendía. 1990. Estudio regional de suelos de la provincia del Neuquén. Volumen 5. Tomo I. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. Argentina.
- Gonda H.E. 2001. Ecuaciones para el manejo de las plantaciones de pino ponderosa en Neuquén: Altura-diámetro, volumen total sin corteza, calidad de sitio en base al largo de entrenudos o acículas, productividad para densidades variables. *Publicación Técnica* 30. CIEFAP. 24 p.
- Gonda H.E., Marshall D.D., G.O. Cortés y S.D. Tesch. 1998a. Capítulo III: Tree volume equations for unthinned young-growth ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. A comparison with equations developed in the western United States. P 50-82. En Tesis doctoral de H.E. Gonda: 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. Oregon State University. Oregon. USA. 198p.
- Gonda H.E., Tesch S.D., Marshall D.D. y G.O. Cortés. 1998b. Capítulo VI: Variable-density yield equations for unthinned young-growth ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. P 145-172. En Tesis doctoral de H.E. Gonda: 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. Oregon State University. Oregon. USA. 198p.
- Gonda H.E., Tesch S.D., Marshall D.D. y G.O. Cortés. 1998c. Capítulo IV: A growth intercept index for unthinned young-growth ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. Pp 83-119. En Tesis doctoral de H.E. Gonda: 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. Oregon State University. Oregon. USA. 198p.
- Gonda H.E., Tesch S.D., y G.O. Cortés. 1998d. Capítulo V: Needle length as site quality predictor in unthinned young-growth ponderosa pine plantations in Neuquén, Patagonia, Argentina. Pp 120-144. En Tesis doctoral de H.E. Gonda: 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. Oregon State University. Oregon. USA. 198pp.
- McAndrews M.A. 1999. *Forestry in Argentina: the use of needle length as a site quality indicator in young ponderosa pine plantations in northern Patagonia*. Tesis de grado. Oregon State University. Oregon. USA. 66 p.
- McDonald P.M., y G.O. Fiddler. 1990. Ponderosa pine seedlings and competing vegetation: ecology, growth, and cost. USDA. Forest Service. Pacific Southwest Research Station. Research Paper 199.
- McDonald P.M., Skinner C.N., y G.O. Fiddler. 1992. Ponderosa pine needle length: an early indicator of release treatment effectiveness. *Canadian Journal of Forest Research*. 22: 761-764.
- Mendía J.M. y J.A. Irisarri. 1986. Relevamiento de suelos con aptitud forestal en la región occidental de la provincia de Río Negro. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Expediente 751. Buenos Aires. Argentina.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 2001. *Argentina: Inventario nacional de plantaciones forestales*. Buenos Aires. 63 p.
- Squillance A.E. y R.R. Silen. 1962. Racial variation in ponderosa pine. *Forest Science*. Monograph 2. 17 p.

