

Relaciones entre factores de sitio y el crecimiento de coníferas introducidas en Ventania (Provincia de Buenos Aires), Argentina

Ares A, P Zalba y N Peinemann

Dto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, 8000 Bahía Blanca

Recibido 2 de Noviembre de 1991; aceptado 1 de junio de 1992

RESUMEN

Se evaluó la influencia de factores de sitio sobre el crecimiento de 22 rodales de pino de Alepo (*Pinus halepensis* Mill.), 20 de pino de Monterrey (*Pinus radiata* D. Don.), 15 de cedro del Himalaya (*Cedrus deodara* (Roxb) Loudon) y 15 de ciprés horizontal (*Cupressus sempervirens* f. *horizontalis* (Mill.) Voos.), ubicados en una vasta área del sistema serrano de Ventania. Las variables edáficas correlacionadas con el índice de sitio como indicador del crecimiento, fueron: profundidad de enraizamiento y pedregosidad a 0-30 y 30-60 cm de profundidad en *P. halepensis*; pedregosidad y contenidos de gravas finas y gravillas, y de arena en *C. deodara*; y profundidad de enraizamiento y color (value) del horizonte A en *C. sempervirens*. Ningún factor edáfico se correlacionó significativamente con el crecimiento de *P. radiata*. Los modelos de regresión utilizando únicamente aspectos edáficos permitieron explicar entre 23 y 70% de la variabilidad en el índice de sitio. Entre las variables geográficas, topográficas y climáticas se encontraron correlacionadas con el crecimiento de las distintas especies: latitud, longitud, altitud, longitud e inclinación de la pendiente, posición en el relieve, precipitación, suma anual de déficits y superávits hídricos, temperatura media del mes más cálido y otras variables climáticas, las que tuvieron particular incidencia en *P. radiata*. Incluyendo todas las variables ambientales en forma conjunta, la explicación de la varianza del índice de sitio se elevó a 60-85% según la especie.

Palabras clave: Calidad de sitio forestal, coníferas.

Relationships between site factors and the growth of conifers introduced in Ventania (Province of Buenos Aires), Argentina

SUMMARY

It was studied the influence of site factors on growth of stands of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.), 20 stands of Monterey pine (*Pinus radiata* D. Don.), 15 stands of deodar cedar (*Cedrus deodara* (Roxb) Loudon) and 15 stands of Italian or common cypress (*Cupressus sempervirens* f. *horizontalis* (Mill.) Voos), located in a large area of the hilly system of Ventania. Soil variables correlated with site index as growth estimator were: depth of rooting and stoniness at a depth of 0-30 and 30-60 cm for *P. halepensis*, stoniness, and gravel and sand content for *C. deodara* and depth of rooting and color (value) of A horizon for *C. sempervirens*. No soil factor was significantly correlated with the growth of *P. radiata*. Regression models including soil variables explained between 23 and 70% of the variation in site index. Growth of the studied species was correlated with the following geographic, topographic and climatic variables: latitude, longitude, altitude, slope length and gradient, slope position, rainfall, annual sum of water deficits and surpluses, mean temperature of the

warmest month and other climatic variables which mainly affected growth of *P. radiata*. Including all the environmental variables, the explanation of the variation in site index grew up to 60-85%.

Key words: Forest site quality evaluation, conifers.

INTRODUCCION

El sistema serrano de Ventania que abarca una superficie de 7.100 Km² en los partidos bonaerenses de Tornquist, Cnel. Pringles, Saavedra, Puan, Gral. Lamadrid y Cnel. Suarez, es una de las zonas potencialmente aptas para la actividad forestal con que cuenta la Provincia de Buenos Aires. Según estimaciones (Lebed, 1978), considerando solamente un 10% del territorio ocupado por este sistema y el de Tandilia, se podrían llegar a utilizar con fines forestales 200.000 ha de campos con topografía abrupta, ahora total o parcialmente improductivos.

La información existente respecto a las posibilidades forestales de la región es escasa y mayormente de carácter general y de divulgación (Wendorff, 1946; Lebed, 1978), o circunscripta a áreas restringidas (Lores, 1979; Salvatierra y López Lastra, 1983). Las relaciones que vinculan factores ambientales con el crecimiento de los forestales tampoco han sido estudiadas.

Como parte de un amplio proyecto sobre evaluación de calidades de sitio para coníferas en Ventania (Ares, 1991), se analizó el crecimiento de plantaciones distribuidas sobre las distintas unidades fisiográficas de un vasto sector serrano. Las coníferas constituyen el grupo de forestales más difundido en Ventania por su adaptabilidad a diversos ambientes, multiplicidad de beneficios y variadas aplicaciones de la madera.

El objetivo de este trabajo fue establecer relaciones funcionales entre variables edáficas fácilmente reconocibles en el terreno y, eventualmente, algunas de otro carácter, y el crecimiento de los forestales. La hipótesis que se intentó validar fue que las variables ambientales sirven para

predecir el índice de sitio en ausencia de árboles sobre los sitios.

MATERIALES Y METODOS

La región de estudio

-Características geológicas y geomorfológicas: El sistema de Ventania se extiende en dirección NO-SE a lo largo de 170 m con un ancho máximo de 65 m, culminando en el cerro Tres Picos de 1.246 m de altura. El núcleo de este sistema está conformado por rocas cuarcíticas fuertemente plegadas que descansan sobre un basamento cristalino del Precámbrico el cual se manifiesta por reducidos afloramientos graníticos, mientras que el resto del área está cubierta de sedimentos loésicos y limo-arcillo-arenosos del Cuaternario. Estos últimos, cementados con material calcáreo, constituyen una capa discontinua de tosca de espesor variable que emerge a partir del piedemonte (Lores, 1979).

Geomorfológicamente, el área corresponde al dominio morfoestructural "Positivo de Ventania" (González Uriarte, 1988), dentro del que pueden diferenciarse como unidades el Sistema serrano y el Nivel de planación general. El primero incluye como subunidades "serranías y cerros" que comprende los encadenamientos serranos y estribaciones, y los "valles intermontanos" que pueden ser de vertiente, transversales ("abras") o longitudinales.

El Nivel de planación general es, según González Uriarte, "una llanura por su altitud y un sediplano por su génesis". Presenta alturas sobre

nivel del mar que oscilan entre 350-400 m en el norte de sierra hasta 60-70 m en el sur del dominio. Las pendientes a su vez van desde 5% hasta menos de 0,5%. A modo de subunidades se reconocen el pedemonte y la llanura subventánica.

-Características climáticas y edáficas: De acuerdo con Koepfen (1929), el Dominio Positivo de Ventania se encuentra en la transición del clima templado húmedo al de estepa. Según Van Nambéke y Scoppa (1976), el régimen de temperatura es térmico y el de humedad údico hacia el noreste y ústico hacia el sudoeste. Las precipitaciones oscilan entre 670 y 920 mm.

Los suelos bien drenados de la región pertenecen al orden de los Molisoles y se han desarrollado a partir de loess, puro o mezclado con detritos de roca (Vargas Gil y Scoppa, 1973). Existen Argiudoles (típicos, ácuicos, líticos, etc.) y Hapludoles (típicos, cumúlicos, líticos, etc.) (INTA, 1989). No hay suelos formados exclusivamente sobre la regolita. En los relieves excesivos aparecen suelos litosólicos (Entisoles) con muy escasa profundidad. Hacia el sudoeste con menores precipitaciones predominan los Haplustoles.

METODOLOGIA

Mediante la observación de aerofotomosaicos en escala 1:50.000 se detectaron sitios forestados con coníferas en un área de aproximadamente 160.000 ha. Posteriormente, se seleccionaron en el terreno aquellas plantaciones que por su estado sirvieran a los fines de este estudio, buscando cubrir la mayor cantidad posible de situaciones de sitio.

Se descartaron los rodales que mostraban ataques de insectos o enfermedades. Finalmente, se eligieron 22 montes de pino de Alepo (*Pinus halepensis* Mill.), 20 de pino de Monterrey (*Pinus radiata* D. Don.), 15 de cedro del Himalaya (*Cedrus deodara* (Roxb) Loudon) y 15 de ciprés horizontal (*Cupressus sempervirens* f. *horizontalis* (Mill.) Voos). Se considera que las plantas habían sido obtenidas a partir de semillas de procedencia local.

Los montes se encontraban sobre las subunidades "serranías y cerros" (laderas y pie de sierra), "valles intermontanos" y "pedemonte".

-Observaciones edafométricas: Una parcela de 0,2 ha fue establecida aleatoriamente en cada sitio. El índice de sitio, estimador de la calidad más aceptado, fue determinado mediante análisis troncal y expresado como la altura dominante de los rodales a la edad base de 25 años. Para cada especie, cuatro clases de sitio fueron establecidas de acuerdo al intervalo de índices observado.

-Análisis edafológico: En 8 puntos a lo largo de una diagonal en cada parcela fueron medidos: espesor de los horizontes A y B, profundidad de enraizamiento, profundidad al horizonte C, roca o capa de tosca, y espesor del horizonte argílico si estaba presente. A profundidades de 0-30 y 30-60 cm fueron determinadas las siguientes propiedades: contenido de arena, limo y arcilla por el método de la pipeta, pH en agua (1: 2,5), color (value) del suelo seco al aire, densidad aparente y pedregosidad. La densidad aparente fue medida por el método del cilindro excepto en suelos extremadamente pedregosos en los cuales se utilizó el método de los agregados (Blake, 1965). Los valores obtenidos fueron corregidos de acuerdo al contenido porcentual de piedras suponiendo una densidad real de 2,7 g.cm³. La pedregosidad en por ciento fue determinada por mediciones del ancho de bloques, guijarros y gravas gruesas intersectado por transectas a lo largo de cada cara de los pozos (Harding et al., 1985).

Una calicata fue excavada en el lugar que representaba la media de la variación de las propiedades edáficas. La descripción de los perfiles se realizó según Soil Taxonomy (Soil Conservation Service, 1975). Perfiles modales fueron analizados siguiendo técnicas usuales.

Respecto a los principales macronutrientes, se determinaron nitrógeno total por semimicro-Kjeldhal; cationes intercambiables por extracción con acetato de amonio 1 N, y posterior determinación de sodio y potasio por fotometría de llama y calcio y magnesio por volumetría con EDTA; y fósforo disponible por extracción por Bray-Kurtz

No. 1 y determinación colorimétrica con molibdato de amonio y ácido ascórbico según Murphy y Riley. La capacidad de intercambio catiónico se determinó por desplazamiento con solución de acetato de sodio 1 N (pH 8,2) y reemplazo del sodio absorbido con acetato de amonio 1 N (pH 7).

-Datos topográficos y climáticos: Las variables topográficas medidas en cada parcela incluyeron elevación, longitud e inclinación de la pendiente, posición en el relieve y exposición. La inclinación y longitud de la pendiente y la exposición fueron medidas directamente en el terreno. La elevación fue determinada de mapas topográficos del Instituto Geográfico Militar (IGM). En el caso de la exposición, la transformación propuesta por Beers et al. (1966) fue adaptada al hemisferio sur. A la posición en el relieve se le otorgó, de acuerdo a la ubicación relativa de cada rodal, valores desde 0 en las crestas hasta 100 en el nivel basal.

Se colectaron datos de precipitación y temperatura provenientes de establecimientos agropecuarios cercanos y de estaciones meteorológicas en el área.

En total, 15 variables climáticas fueron analizadas en relación con el índice de sitio. Ellas se referían a: precipitación media anual y distribución a lo largo del año, evapotranspiración media anual y estacional (Thornthwaite y Mather, 1957), temperatura media anual y en los meses más fríos y cálidos. Fue usado también un índice hídrico (Gandullo, 1972) que relaciona la suma anual de superávits y déficits hídricos. Valores diarios de precipitación, temperatura y otros datos atmosféricos no estaban usualmente disponibles para realizar balances hídricos seriados o balances de energía más realistas como Penman (Doorembos y Pruitt, 1977). Para calcular los balances hídricos se puso cuidado en emplear series homólogas de precipitación.

-Análisis estadístico: Con los datos obtenidos para los 72 sitios bajo estudio, se seleccionaron las variables que correlacionaban significativamente con el índice de sitio y las mejores ecuaciones de regresión utilizando el paquete estadístico BMDP de la Universidad de California

(Dixon et al., 1981). Como paso previo se graficaron las variables independientes vs. índice de sitio observándose relaciones de tipo lineal. Los mejores subconjuntos de variables con mínima correlación entre sí se eligieron por los métodos "backward" y "forward" teniendo en cuenta los coeficientes R^2 R^2 ajustado, CP de Mallows y estadístico t. En una primera etapa se analizaron solamente las variables edáficas y posteriormente la totalidad de las mismas.

RESULTADOS

Los índices y clases de sitio obtenidos para las distintas especies se muestran en la Tabla 1. Se puede observar una amplia variación en los índices de sitio especialmente para *P. halepensis* y *P. radiata*.

Tabla 1. Clases e índices de sitio de las plantaciones de coníferas estudiadas en Ventania.

Site classes and indices of the coniferous plantations studied in Ventania.

Clases de sitio	Intervalo de la clase (m)	Número de casos (%)	Índice de sitio* promedio (m)
<i>Pinus halepensis</i>			
I	> 20-24	9,1	23,0
II	> 16-20	27,3	17,2
III	> 12-16	45,4	14,1
IV	8-12	18,2	10,9
<i>Pinus radiata</i>			
I	> 21-24	10,0	23,0
II	> 16-21	15,0	19,7
III	> 15-18	45,0	16,8
IV	12-15	30,0	13,6
<i>Cedrus deodara</i>			
I	> 12,5-15	20,0	14,0
II	> 10,0-12,5	20,0	11,7
III	> 7,5-10	13,3	9,0
IV	5,0-7,5	6,7	6,5
<i>Cupressus sempervirens</i>			
I	> 12,5-15	13,3	14,1
II	> 10,0-12,5	13,3	11,5
III	> 7,5-10	26,4	9,0
IV	5,0-7,5	47,0	6,8

* Altura dominante a la edad de 25 años de los rodales.

Variables edáficas

Los resultados del análisis estadístico donde se presentan las correlaciones significativas de las variables edáficas con el índice de sitio y las mejores ecuaciones de regresión se ofrecen en la tabla 2. Fue posible encontrar correlaciones significativas para 3 de las 4 especies estudiadas.

-Pinus halepensis: La correlación positiva a un nivel de significación del 1% con la profundidad de enraizamiento y negativa al 5% con la pedregosidad a ambas profundidades, marca el superior crecimiento de esta especie en suelos sin limitantes para la exploración de las raíces y libres de pedregosidad, a pesar de que es bien conocida su adaptabilidad a variadas condiciones edáficas. La mejor ecuación de regresión explica casi el 40% de la variabilidad del índice de sitio.

-Pinus radiata: No se encontraron correlaciones significativas entre las variables edáficas e índice de sitio ni se seleccionaron ecuaciones de regresión.

-Cedrus deodara: Se observaron correlaciones negativas a un nivel del 1% de las variables pedregosidad y fracción gruesa a ambas profundidades con el índice de sitio. Se pudo observar una marcada disminución del crecimiento del cedro del Himalaya en suelos pedregosos y gravillosos siendo la especie más sensible de las estudiadas a esas limitantes. También se observó una correlación negativa al 5% con el porcentaje de arena a 0-30 cm de profundidad, lo cual se asocia a una disminución del crecimiento en condiciones de menor retención de humedad edáfica.

Las mejores ecuaciones de regresión explican el 59% y 69% de la varianza del índice de sitio para una y dos variables, respectivamente.

-Cupressus sempervirens: Prácticamente no se evaluaron plantaciones en suelos pedregosos o gravillosos. Se correlacionaron significativamente a un nivel del 5%, profundidad efectiva y value del horizonte A. Esta última característica brinda cierta indicación, aunque no estricta, del tenor de materia orgánica. El mejor modelo de regresión explica el 31% de la variabilidad del índice de sitio.

Tabla 2. Variables edáficas correlacionadas significativamente con el índice de sitio (IS) y mejores modelos de regresión
Soil variables correlated significantly with site index (IS) and best regression models.

Variable	r	Mejor ecuación de regresión	Porcentaje de la varianza explicado por el modelo (R ^{2a})
<i>Pinus halepensis</i>			
PRO cm	0,854**	IS: 10,7 + 0,0 8PRO	39,8
PEA %	-0,476**		
PEB %	-0,440*		
<i>Cedrus deodara</i>			
PEA %	-0,788**	IS: 12,8 - 0,04 PEA	59,2
FGA %	-0,777**		
PEB %	-0,854**		
FGB %	-0,875**		
ARA %	-0,560**		
<i>Cupressus sempervirens</i>			
PRO cm	0,602*	IS: 2,23 + 0,09 PRO	31,3
VAL-A	-0,541*	IS: 19,8 - 3,1 VAL-A	23,4

Nota PRO: Profundidad de enraizamiento; PEA: Pedregosidad a 0-30 cm; PEB: Pedregosidad a 30-60 cm; FGA: Gravas y gravillas a 0-30 cm; FGB: Gravas y gravillas a 30-60 cm; ARA: Arena a 0-30 cm; VAL-A: Value del horizonte A.

Todas las variables

El análisis conjunto de todas las variables analizadas (alrededor de 50) produjo los resultados que se exponen en la Tabla 3.

-Pinus halepensis: El índice de sitio aparece correlacionado negativamente con la elevación y positivamente con la longitud de la pendiente a un nivel del 1%. No se observan correlaciones significativas con variables climáticas. La mejor ecuación de regresión explica un 81% de la variabilidad del índice de sitio incluyendo a la variable edáfica profundidad de enraizamiento y a la topográfica longitud de la pendiente.

-Pinus radiata: Un gran número de variables climáticas de las cuales sólo se listan algunas, aparecen fuertemente correlacionadas con el índice de sitio. También las variables latitud y elevación

Tabla 3. Variables geográficas, topográficas y climáticas correlacionadas significativamente con el índice de sitio (IS) y mejores modelos de regresión utilizando todas las variables. Geographic, topographic and climatic variables correlated significantly with site index (IS) and best models of regression including all the variables.

Variable	r	Mejor ecuación de regresión	Porcentaje de la varianza explicado por el modelo (R ² a)
<i>Pinus halepensis</i>			
ELE m	-0,535**	IS: 9 + 0,07 PRO +	80,8
LOP m	0,541**	+ 0,003 LOP	
<i>Pinus radiata</i>			
ELE m	0,528*	IS: -4,44 + 0,03 PRE +	83,0
LAT °	0,448*	+ 0,07 EA - 2,1 VAL-A	
PRE mm	0,685**		
SSH mm	-0,663**		
TMC °	0,649**		
IH	0,647**		
EV mm	-0,635**		
ET mm	-0,612**		
<i>Cedrus deodara</i>			
ELE m	-0,634*	IS: 1,1 - 0,12 FGB -	85,1
POS %	0,521*	0,06 INC + 1,2 TEXP	
INC %	-0,517*		
<i>Cupressus sempervirens</i>			
LON °	-0,679**	IS: 2281,7 - 36,6 LON	73,4
LOP m	-0,795**		
ELE m	0,731**		

Nota ELE: Elevación; LOP: Longitud de la pendiente; LAT: Latitud; PRE: Precipitación media anual; SSH: Suma anual de superávits hídricos; TMC: Temperatura media del mes más cálido; IH: Índice hídrico; EV: Evapotranspiración media del verano; ET: Evapotranspiración media anual; PRO: Profundidad de enraizamiento; EA: Espesor del horizonte A; VAL-A: Value del horizonte A; FGB: Gravas y gravillas a 30-60 cm; TEXP: Exposición (transf.).

se correlacionan positivamente a un nivel del 5%. La mejor ecuación de regresión explica el 83% de la varianza del índice de sitio.

-Cedrus deodara: Se encuentran correlacionadas al 5%, elevación, posición en el relieve y exposición, no existiendo relación con variables macroclimáticas. El mejor modelo logra un 85% de explicación de la varianza del índice de sitio, el mayor obtenido, incluyendo a las variables gravas finas y gravillas a 30-60 cm, inclinación de la pendiente y una transformación de la exposición.

-Cupressus sempervirens: Existen correlaciones positivas con la variable geográfica longitud al 1% y con las topográficas longitud de pendiente y elevación, en forma negativa y positiva respectivamente, a un nivel del 5%. La mejor ecuación suministra una explicación del 73%, incluyendo solamente a la variable longitud.

En las Tablas 4 y 5 se presentan algunos datos analíticos para aquellos perfiles donde se realizó un análisis completo. En general, las variables relacionadas con la textura no fueron significativas al igual que el pH. Los contenidos de macronutrientes fueron usualmente altos, salvo para el fósforo disponible que mostró una gran dispersión en los valores sin relación aparente con la calidad de sitio (Tabla 5).

DISCUSION

Los resultados obtenidos permiten concluir que el crecimiento de coníferas en Ventania se halla influido por algunas de las características edáficas analizadas, las cuales pueden medirse o estimarse en el terreno. Los modelos ajustados explican entre 23 y 69% de la variabilidad en el índice de sitio. Es de mencionar que, en general, aun utilizando otras variables ambientales, raramente en este tipo de modelos se logran explicaciones superiores al 50- 60% (Gandullo et al., 1974; Mader, 1976; Bara Temesy Tova Hernandez, 1983; Monserud, 1988). Entre los mejores resultados que emplean solamente variables edáficas se hallan los de Fassbender y Tschinkel (1974), que señalan una explicación del 72% para *Cupressus lusitanica* en Colombia.

En Ventania se comprueba la importante influencia de la profundidad de enraizamiento sobre la calidad de los montes de *P. halepensis* que crecen mejor en suelos sin limitantes para la exploración de las raíces, a pesar de su bien conocida adaptabilidad a variadas condiciones edáficas. Spencer (1985) citando a Laatsch (1967) y Schiller (1982), señala coincidentemente que en Israel el crecimiento de esta especie depende

Tabla 4. Propiedades edáficas en perfiles bajo algunos de los rodales estudiados.
Soil properties in profiles under some of the studied stands.

Rodal	Calidad de sitio	Horiz.	color seco	arc. lim. Ar %			Ped %	DA g.cm ³	pH
<i>P. halepensis</i> N°1	I	A1	10YR 4/2	20	44	36	0	1,22	4,6
		B2	10YR 4/3	23	49	28	0	1,33	6,6
<i>P. halepensis</i> N°2	II	A11	10YR 3/2	17	27	56	10	1,21	4,5
		AC	10YR 3/3	18	29	53	35	1,33	6,2
<i>P. halepensis</i> N°3	III	A1	10YR 3/2	27	30	43	0	1,16	5,5
		B2t	10YR 4/2	37	27	36	0	1,35	6,4
<i>P. halepensis</i> N°4	IV	A11	10YR 3/2	18	41	41	90	1,16	6,4
		B2t	10YR 4/2	35	41	24	40	1,28	7,1
<i>P. radiata</i> N°1	I	A11	10YR 3/1	25	27	48	5	1,16	6,2
		A 13	10YR 3/3	38	7	55	80	1,29	6,3
<i>P. radiata</i> N°2	II	A 11	10YR 3/1	18	28	54	20	1,19	5,4
		B2t	10YR 3/2	28	14	58	80	-	6,1
<i>P. radiata</i> N°3	IV	A11	10YR 4/2	21	50	29	0	1,24	5,0
		B2t	10YR 4/3	29	44	27	0	1,33	7,8
<i>P. radiata</i> N°4	IV	A 1	10YR 3/2	19	28	53	10	1,20	5,1
<i>C. deodara</i> N°1	I	A 1	10YR 3/2	20	39	41	0	1,10	6,2
		B2	10YR 4/3	24	38	38	0	1,25	6,6
<i>C. deodara</i> N°2	II	A11	10YR 3/1	28	30	44	60	1,09	4,3
		B2t	10YR 4/4	38	23	39	15	1,36	5,8
<i>C. deodara</i> N°3	IV	A11	10YR 3/1	29	17	54	90	1,13	5,3
		B2	10YR 3/3	32	17	51	90	1,23	5,7
<i>C. sempervirens</i> N°1	I	A1	10YR 3/1	18	51	31	0	1,13	6,6
		AC	10YR 4/2	21	51	28	0	1,25	7,3
<i>C. sempervirens</i> N°2	IV	A1	10YR 4/2	23	51	26	0	1,22	6,0
		B2	10YR 5/3	24	53	23	0	1,33	6,9

Nota: DA: Densidad aparente; Ped: Pedregosidad.

principalmente de la profundidad de enraizamiento, siendo este aspecto dominante sobre la exposición o el tipo de suelo. También esta especie resultó sensible al aumento de la pedregosidad del perfil aunque no en forma tan marcada como *C. deodara*, que se presenta fuertemente condicionado por esa limitante.

Dentro de las condiciones de sitio analiza-

das, bastante sorprendentemente, las características del suelo no ejercieron influencia sobre el crecimiento de *P. radiata*, aun cuando las plantaciones cubrían un amplio intervalo de situaciones edáficas.

En *C. sempervirens* parecería existir respuesta al contenido de materia orgánica en el perfil. Este aspecto resultó bastante inesperado

Tabla 5. Contenido de nutrientes en perfiles bajo algunos de los rodales estudiados.
Nutrient content in profiles under some of the studied stands.

Rodal	Calidad de sitio	Horiz.	Nt %	CIC Ca Mg Na K					P. dis. ppr
				mg/100 g					
<i>P. halepensis</i> N°1	I	A1	0,12	25,3	3,4	5,1	0,5	2,0	40
		B2	0,02	23,8	8,7	7,6	0,4	4,1	36
<i>P. halepensis</i> N°2	II	A11	0,19	23,1	5,3	3,9	0,1	0,6	56
		AC	0,15	17,2	8,0	5,1	0,2	0,1	22
<i>P. halepensis</i> N°3	III	A1	0,28	34,6	0,8	8,3	0,4	1,3	32
		B2t	0,04	28,4	0,3	8,7	0,7	1,2	1
<i>P. halepensis</i> N°4	IV	A11	0,34	30,3	6,2	6,2	0,3	0,5	5
		B2t	0,14	33,1	25,0	6,5	0,1	0,4	1
<i>P. radiata</i> N°1	I	A11	0,17	27,1	11,8	7,4	0,2	0,1	1
		A13	0,10	29,2	5,4	7,1	0,4	0,3	1
<i>P. radiata</i> N°2	II	A11	0,21	24,8	8,5	4,3	0,4	0,5	20
		B2t	0,05	23,7	9,1	7,2	0,2	0,3	16
<i>P. radiata</i> N°3	IV	A11	0,12	26,2	3,5	4,9	1,1	2,3	36
		B2t	0,09	32,2	8,9	4,7	5,6	2,8	6
<i>P. radiata</i> N°4	IV	A1	0,17	22,0	7,6	4,1	0,1	0,3	21
<i>C. deodara</i> N°1	I	A1	0,18	30,4	9,3	11,8	0,5	1,8	5
		B2	0,06	18,9	6,2	8,3	0,2	1,3	6
<i>C. deodara</i> N°2	II	A11	0,31	36,2	6,9	5,9	0,1	0,7	42
		B2t	0,09	33,1	11,6	8,8	0,6	0,6	4
<i>C. deodara</i> N°3	IV	A11	0,29	33,8	9,1	5,5	0,1	0,7	7
		B2	0,11	29,7	10,9	7,5	0,3	0,5	2
<i>C. sempervirens</i> N°1	I	A1	0,35	36,0	17,2	9,5	0,6	3,3	45
		AC	0,10	27,3	14,5	8,4	0,8	3,1	30
<i>C. sempervirens</i> N°2	IV	A1	0,12	24,7	8,0	6,6	0,5	2,2	30
		B2	0,04	23,8	10,8	8,2	0,6	1,8	9

ya que se considera a esta especie adaptable a suelos infértiles (Gambi, 1983), aunque no abundan las referencias sobre posibles aumentos de los rendimientos que pudieran lograrse en terrenos más propicios.

En general, los modelos integrados exclusivamente por variables edáficas tienen un escaso valor predictivo salvo para *C. deodara*. Añadiendo variables de otro carácter, los porcentajes de explicación aumentan ostensiblemente.

En *P. halepensis* las correlaciones con varia-

bles topográficas se consideran que reflejan efectos indirectos, por los cuales su crecimiento resulta superior en sitios pedemontanos fuera de las laderas montañosas donde se encuentran los suelos someros y pedregosos. En el área de estudio, *P. halepensis* no es influido por factores macroclimáticos. A modo de comparación, se puede mencionar que en uno de los más completos estudios sobre la especie (Gandullo, 1972) se encontró una relación positiva entre el crecimiento de bosques naturales y las precipitaciones, en

regiones con 450-650 mm anuales. La circunstancia que en la zona de estudio las precipitaciones varían entre 670 y 925 mm sugiere que las condiciones de humedad son suficientes para satisfacer los requerimientos de esta especie.

Opuestamente, en *P. radiata* la relación encontrada entre numerosas variables climáticas y el índice de sitio, muestra que éste depende principalmente de factores climáticos. El hecho que la precipitación media anual mostrara la mayor correlación con los índices de crecimiento fue bastante llamativo. Se esperaba que factores relacionados con la evapotranspiración y el balance hídrico reflejaran mejor las relaciones clima-crecimiento. Así, queda demostrado que aun a través de una zona geográfica reducida como el área de estudio, el intervalo de precipitaciones es suficiente para producir notorias diferencias en el crecimiento. Turner y Lambert (1986) indican que en Nueva Zelanda y Chile un cambio de 100 mm en la precipitación altera el índice de sitio en 0,90 y 0,75 m, dentro de un intervalo observado de 18 a 27 y 15 a 31 m, respectivamente. En Ventania el mencionado cambio es de 3 m, es decir, notoriamente más fuerte para un intervalo de 12 a 24 m. En conclusión, puede afirmarse que la precipitación, como una estimación indirecta de la disponibilidad de humedad edáfica, provee una buena aproximación para estimar el crecimiento de *P. radiata* en el área. En sitios beneficiados por los mayores registros pluviométricos, *P. radiata* crece satisfactoriamente aun en suelos someros o pedregosos. Probablemente, exposiciones favorables (sur y sureste) acentúen ese efecto.

La correlación inversa de la temperatura del mes más cálido con el índice de sitio, indicaría que las estaciones más frescas son más favorables. Golfari (1985) afirma que si dicha temperatura es mayor a la que se registra en el área natural de Monterrey se induce la disminución del crecimiento y el ataque de hongos patógenos. Rook y Corson (1978) indican que la temperatura óptima para la ganancia fotosintética neta de *P. radiata* es de 10°C y que la respiración excede a la fotosíntesis a los 25 °C

Se concluye que *C. deodara* es muy sensible a la disminución relativa de la fracción tierra fina en el perfil, siendo por lo tanto mayor su crecimiento en valles intermontanos y en pie de sierra. Es bastante difícil comparar estos resultados, porque a pesar de que *C. deodara* es una de las más importantes especies forestales en los Himalayas occidentales y ha sido también ampliamente plantado en la región, existe muy poca información sobre sus requerimientos. En Ventania el mejor modelo muestra la combinación sinérgica del efecto adverso del contenido de gravillas y el positivo de las posiciones de base y las exposiciones sud y sudeste (valores menores de la transformación adoptada). En relación a la exposición, muchos autores en el hemisferio norte la han señalado como un importante factor en el crecimiento forestal (Trimble, 1964; Hartung y Lloyd, 1969; Graney y Ferguson, 1972). Los índices de sitio más altos fueron citados en el norte, este y noreste, a pesar de que la exposición óptima puede variar con la elevación o la estación de crecimiento (Verbyla y Fisher, 1989).

Por el contrario, hay escasa información sobre la influencia de la exposición en el hemisferio sur. Los resultados de este trabajo tienden a indicar que el crecimiento, al menos de *C. deodara*, es usualmente más intenso en laderas sud y sudeste. Concordantemente, Tajchman y Lacey (1986) encontraron que los valores más altos de biomasa aérea en bosques nativos australianos aparecían sobre laderas sudeste y los menores en laderas noroeste.

En *C. sempervirens* la correlación positiva con elevación y la negativa con longitud de la pendiente, indican que las condiciones en la zona propiamente serrana son más propicias. La mejor ecuación de regresión tiene solamente un valor local al incluir la variable geográfica longitud, puntualizando meramente que los mejores montes se encuentran en la porción oriental del área de estudio.

En general, el pH fue una variable irrelevante en este trabajo y las relacionadas con la textura no fueron significativas dado el bastante reducido

intervalo de variación que manifiestan estos suelos formados sobre loess. El mismo hallazgo para suelos forestales loésicos en Illinois fue apuntado por Fralish (1989). En el área de estudio, por ejemplo, los suelos del piedemonte tienen una composición granulométrica (30% de arena, 50% de limo y 20% de arcilla) muy similar a la hallada como óptima para *P. halepensis* en España por Gandullo (1972).

Respecto a la fertilidad de los sitios forestados, los tenores de nutrientes aun a cierta profundidad distan de los límites de deficiencia informados para coníferas, por ejemplo, Mg (Altherr y Evers, 1975); Ca (Humphreys, 1964); K (Pritchett, 1986) y N (Raupach, 1967). En el caso de los niveles de fósforo disponible, no se observaron tendencias que indicaran alguna relación con el crecimiento forestal, a pesar de la estrecha vinculación encontrada en otros trabajos (Lowry, 1975; Truman et al., 1983).

Estudios futuros incluyendo el análisis de otros factores químicos del suelo probablemente incrementarían poco la información. Por el contrario, subsiguientes investigaciones en sitios representativos del agua edáfica como combinación de factores micro y macroclimáticos, edáficos y

topográficos ayudarían a un mayor entendimiento del crecimiento forestal en Ventania. Esta influencia ha sido repetidamente marcada (Zahner, Donnelly, 1967; Fralish et al., 1978; Kramer, 1983).

Respecto a las expresiones ajustadas, a pesar del aún reducido número de observaciones para cada especie y de variables bajo estudio, algunos modelos por ejemplo para *P. radiata* y *C. deodara*, reúnen las condiciones que en términos generales se consideran necesarias para atribuirles valor predictivo de la calidad de sitio. Estos son, de acuerdo con Alder (1980), poseer un coeficiente de correlación superior a 0,8 con 15-20 puntos ajustados y no más de 3-4 variables predictoras en el modelo.

A modo de conclusión general, se puede decir que es insuficiente incluir solamente variables edáficas en los modelos a utilizar para la prospección de la calidad de sitio en Ventania.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONICET y a la CIC por el apoyo económico brindado para la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Alder D (1980) Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. *FAO Serie Montes 22/2*
- Altherr E and FH Evers (1975) Magnesium-Düngungseffekt in einem Fichtenbestand des Buntsandstein-Odenwaldes. *Allg Forst Jagdzt* 146: 217-225
- Ares A (1991) Relaciones entre factores de sitio y el crecimiento de coníferas implantadas en Sierra de la Ventana (Bs.As.). Tesis Magister en Ciencias del Suelo Univ Nac del Sur Bahía Blanca 252 págs
- Bara Temes S y G Toval Hernandez (1983) Calidad de estación del *Pinus pinaster* en Galicia. *Comunicaciones INIA N° 24*
- Beers TW, PE Dress and LC Wensell (1966) Aspect transformation in site productivity research. *J For* 64:691-92
- Blake JR (1965) Bulk density. En: *Methods of soil analysis*. Ed CA Black Series Agronomy Soc Agron Madison 9:381-383
- Dixon RH, MB Brown, L Engelman, JW Frane, MA Hill, RI Jenrich and JD Toporek (1981) *BMDP statistical software*. Univ of Calif Press Berkeley 725 págs
- Doorembos J and WO Pruitt (1977) Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 24* Roma
- Fassbender HW and H Tschinkel (1974) Relación entre el crecimiento de plantaciones de *Cupressus lusitanica* y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. *Turrialba* 24(2):141-149
- Fralish JS (1989) Predicting potential stand basal area from soil and topographic factors in the Shawnee Hills forests of southern Illinois

Inédito

- Alfaro JS, SM Jones, RK O'Dell and JL Chambers (1978) The effect of soil moisture on site productivity and forest composition in the Shawnee Hills of southern Illinois. En: Proc. Soil moisture-site productivity Sym. Ed WE Balmer 263-285
- Arborelli G (1983) Le cipressete. Monti e Boschi 34:1-8
- Andújar JM (1972) Ecología de los pinares españoles. III *Pinus halepensis* Mill Madrid 307 págs
- Andújar JM, S González Alonso y O Sanchez Palomares (1974) Ecología de los pinares españoles. IV *Pinus radiata* D Don Madrid 187 págs
- Alfaro L (1965) Regiones potencialmente aptas para plantaciones de pinos y otras coníferas en América Latina IDIA Supl For N° 2 219-248
- Arzuffari Uriarte M (1988) Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Actas IX Cong Geol Arg III:556-576
- Arney DL and ER Ferguson (1972) Short-leaf pine site index relationships in the Ozark Highlands. Soil Sci Soc Am Proc 3:495-500
- Arney RB, DF Grigal and EH White (1985) Site quality evaluation for white spruce plantations using discriminant analysis. Soil Sci Soc Am J 49:229-232
- Arney RE and JW Lloyd (1969) Influence of aspect on forest of Clarksville soils in Dent County, Missouri. J Forest 67:178-182
- Arney FR (1964) The nutrient status of pine plantations in Central New South Wales. Appita 18:111-121
- ARSA (1989) Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000
- Arzuffari W (1928) Grundriss der Klimakunde Handbuch. Bornträger Berlin
- Arney PJ (1983) Water relations of plants. Academic Press Nueva York 489 págs
- Arzuffari W (1967) Beziehungen zwischen Standortsfaktoren, Ernährungszustand und der Wuchsleistung von Kiefernauaufforstungen im Mittelmeergebiet. Forstwiss Cbl 86 (2): 69-81
- Arzuffari MA (1978) Consideraciones referentes a forestación en las zonas serranas de la Provincia de Buenos Aires. Actas 3er Cong For Arg 119-125
- Arney JR (1979) Suelos. Control del escurrimiento y de la sedimentación en Tornquist, Provincia de Buenos Aires. INTA Colec Cientif XVII Buenos Aires 243 págs
- Lowry GK (1975) Black spruce site quality as related to soil and other site conditions. Soil Sci Soc Am J 39:125-132
- Mader DL (1976) Soil-site productivity for natural stands of white pine in Massachusetts. Soil Sci Soc Am J 40:112-115
- Monserud RA (1988) Variations on a theme of site index. Forest growth modelling and prediction. Ed AR Ek Proc IUFRO Conf 419-427
- Pritchett WL (1986) Suelos forestales. Ed Limusa México 634 págs
- Raupach M (1967) Soil and fertilizer requirements for forests of *Pinus radiata*. Adv Agron 19: 307-53
- Rook DA and MJ Corson (1978) Temperature and irradiance and the total daily photosynthetic production of the crown of a *Pinus radiata* tree. Oecologia (Berl) 36: 371-82
- Salvatierra HC y CC López Lastra (1983) Estudios dasométricos para determinar el crecimiento de especies forestales en la zona de Sierra de la Ventana. Provincia de Buenos Aires. Trab Técn V Cong For Arg 1:1.45-1.50
- Schiller G (1982) Significance of bedrock as a site factor for Aleppo pine. For Ecol Manage 4:213-23
- Soil Conservation Service (1975) Soil Taxonomy. USDA Agric Handbook N° 436 Washington 754 págs
- Spencer DJ (1985) Dry country pines: provenance evaluation of the *Pinus halepensis*-*P. brutia* complex in the semi-arid region of south-east Australia. Aust For Res 15:263-279
- Tajchman SJ and CJ Lacey (1986) Bioclimatic factors in forest site potential. For Ecol Manage 14:211-218
- Thornthwaite WC and JR Mather (1957) Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. Drexel Inst Tech Climatology Pub 10(3)
- Trimble GR (1964) An equation for predicting oak site index without measuring soil depth. J For 62:325-327
- Truman R, FR Humpreys and MJ Lambert (1983) Prediction of site index for *Pinus radiata* at Mullions Range State Forest New South Wales. Aust For Res 13:257-30
- Turner J and MJ Lambert (1986) Nutrition and nutritional relationships of *Pinus radiata*. Ann Rev Ecol Syst 17:325-350

Ares A, P Zalba y N Peinemann. Relaciones entre factores de sitio y el crecimiento de coníferas...

Van Wambelis A y CO Scoppa (1976) Las tasas climáticas de los suelos argentinos. RIA Serie 3 Clima y Suelo XIII (1): 7-39

Vargas Gil JR y CO Scoppa (1973) Suelos de las sierras de la Provincia de Buenos Aires. RIA Serie 3 Clima y Suelo X(2): 57-79

Verbyla DL and RF Fisher (1980) Effect of aspect on ponderosa pine height and diameter growth. For Ecol Manage 27: 83-88

Wendorff H (1946) Arboles y sierras. Ed Ovína Buenos Aires 223 págs

Zahner R and J Donnelly (1967) Refining correlations of water deficits and radial growth in young red pine. Ecology 48: 325-330