

Estabilidad nutritiva de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en cinco sitios característicos de la VIII Región*

Nutrient stability of *Pinus radiata* (D. Don) plantations at five typical sites of the VIII Region

VICTOR GERDING S., JUAN E. SCHLATTER

Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile. vgarding@uach.cl

SUMMARY

The stability of *Pinus radiata* plantations was studied at five sites in relation to the nutrient balance and its projection over time. Granite, red clay soils, sea silt, young volcanic ash and andesitic-basaltic sands were assessed through a vegetation reserve index (IRV) and the cost of nutrient elements. The IRVs for 25-year-old stands were calculated, taking into account reserve fractions (N, P, K, Ca, Mg) and exchange fractions (K, Ca, Mg) of the soil. It can be concluded from the results that each site presents different degrees of stability depending on the nutrient element considered. The level of stability is more closely related to the kind of soil than to the level of productivity. Management measures, which may keep or improve the nutrient balance of the sites on the basis of sustainability, can be derived from this.

Key words: nutrient balance, nutrient stability, site productivity, *Pinus radiata*.

RESUMEN

La estabilidad que presentan cinco sitios con plantaciones adultas de *Pinus radiata* de la VIII Región, con relación al balance nutritivo y su proyección en el tiempo, fue evaluada a través del índice de reserva de la vegetación (IRV) y el costo de elementos nutritivos para suelos de origen granítico, rojo arcilloso, sedimento marino, ceniza volcánica joven y arenas andesítico - basálticas. Se calcularon los IRV para los rodales proyectados a una edad de 25 años, considerando las fracciones de reserva (N, P, K, Ca, Mg) y de intercambio (K, Ca, Mg) del suelo. De los resultados se desprende que cada sitio presenta diferentes grados de estabilidad según el elemento nutritivo considerado. El nivel de estabilidad está más relacionado con el tipo de suelo que con el nivel de productividad. De ello pueden derivarse medidas de manejo que mantengan o mejoren el balance nutritivo de los sitios con un enfoque de sustentabilidad.

Palabras claves: balance nutritivo, estabilidad nutritiva, productividad de sitio, *Pinus radiata*.

INTRODUCCION

El balance nutritivo de un sitio es uno de los aspectos que determinan su productividad en el largo plazo. Dicho balance depende de factores del suelo, del clima, del rodal y del manejo silvicultural. A través de su análisis se identifican los problemas nutricionales que pueden presentar actualmente y en el futuro los sitios y de allí derivar las correspondientes medidas de manejo. Al

respecto, se han desarrollado en Chile algunos trabajos que abarcan un gran número de sitios en términos generales para la distribución de *Pinus radiata* en el país (Gerding 1991, 1993) o un pequeño grupo de sitios con un análisis más detallado (Oñate 1997, Rojas 1997, Edwards 1997, Leonelli 1998, Ruiz 1998, Arancibia 1999, Schlatter y Gerding 1998, 1999).

A partir de las publicaciones de Schlatter y Gerding (1998, 1999), en el presente trabajo se evalúan cinco sitios con plantaciones adultas de *P. radiata* que representan un grupo de los principales suelos en la VIII Región. Estos son analizados en su balance nutritivo a través del índice de re-

* Proyecto financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile.

serva de la vegetación (Fassbender y Bornemisza 1987) y del costo de elementos nutritivos (Raison y Crane 1981) para aportar al conocimiento de diferencias causales de la productividad en cada tipo de suelo y orientar las medidas de manejo más adecuadas para cada caso, en una perspectiva de largo plazo.

MATERIAL Y METODOS

Origen de los datos. El presente trabajo ocupa datos de dos proyectos efectuados anteriormente: a) CONAF/PNUD/FAO/CHI/76/003 (Delmastro *et al.* 1981) y b) INFOR-CORFO (Peters *et al.* 1985, Schlatter 1986), que permitieron formar una base de datos que comprende 70 sitios con plantaciones adultas de *P. radiata*, abarcando la principal zona de distribución de esta especie en Chile (33° - 41° S). En los trabajos de los autores indicados se describe detalladamente la metodología empleada en la obtención de datos, y Schlatter y Gerding (1998, 1999) sintetizan dicha metodología y caracterizan el clima, el suelo, el mantillo y el rodal de cada uno de los sitios utilizados en esta oportunidad.

Los sitios para el presente estudio son:

- 1-G: suelo derivado de rocas graníticas formado *in situ* (granítico, Alfisoles),
- 2-RA: suelo rojo arcilloso originado de cenizas volcánicas antiguas (Ultisoles),
- 3-SM: suelo derivado de sedimentos marinos (Ultisoles),

4-CV: suelo formado por cenizas volcánicas jóvenes (trumao, Andisoles) y

5-A: suelo de arenas volcánicas andesítico-basálticas (arenal, Entisoles).

índice de reserva de la vegetación (IRV). Se calculó el IRV, según Fassbender y Bornemisza (1987), como el cociente entre la cantidad de un elemento nutritivo contenido en la biomasa aérea del rodal más la que contiene el mantillo y la cantidad del elemento en el suelo. Se determinaron índices considerando la fracción de reserva del suelo (N, P, K, Ca, Mg) y la intercambiable (K, Ca, Mg). La profundidad del suelo se hizo variar hasta el límite inferior del segundo estrato de muestreo. Las cantidades de elementos nutritivos de cada caso se obtuvieron de los inventarios correspondientes señalados por Schlatter y Gerding (1999).

El IRV demostrará un mayor grado de estabilidad del sitio en la medida que alcance un menor valor. Por el contrario, altos valores del IRV indican inestabilidad. Se consideró, de acuerdo con Gerding (1991), un valor límite para el IRV de 0.5 para separar sitios inestables (IRV > 0.5) de sitios estables (IRV < 0.5) en relación con un determinado elemento nutritivo.

La biomasa aérea (vuelo) de los rodales se estimó según lo señalado por Schlatter y Gerding (1999). Luego se proyectó a una edad de 25 años a través del incremento medio anual de la biomasa aérea total (figura 1). Esta biomasa se distribuyó

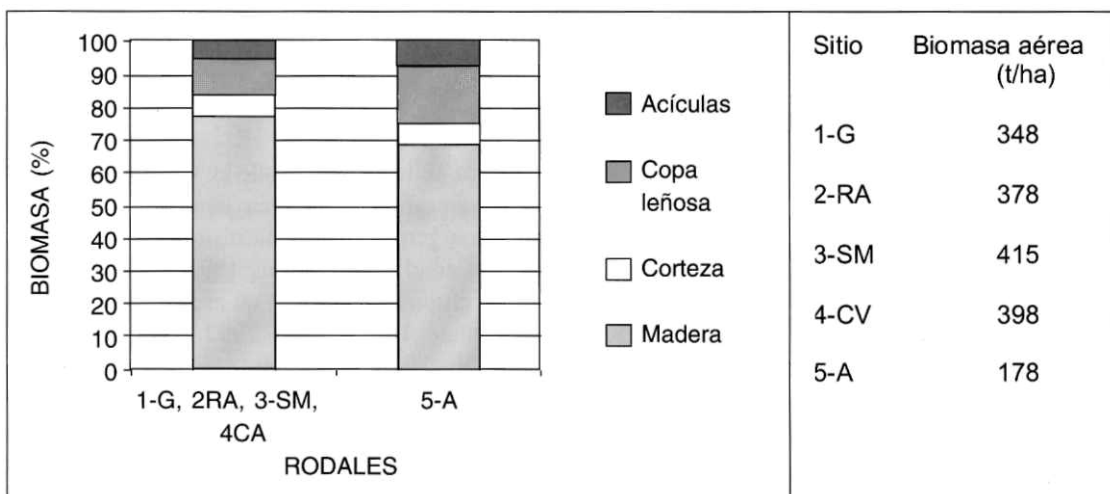


Figura 1. Distribución de la biomasa aérea total de los rodales a los 25 años de edad. Total air biomass distribution of 25-year-old stands.

en sus distintos componentes según Gerding (1991), en consideración a los cambios ocurridos en las proporciones de los tejidos con la variación de la biomasa total (figura 1). Igualmente, se proyectaron las cantidades de elementos nutritivos del mantillo para plantaciones de 25 años de edad. Para ello se consideró el incremento medio anual de la materia orgánica del mantillo y se mantuvo constante la cantidad de cenizas determinada en cada caso. Se aplicaron las mismas concentraciones de elementos nutritivos determinadas en cada mantillo (Schlatter y Gerding 1999).

Costo de elementos nutritivos. Se calcula como la cantidad de elemento nutritivo contenido en un componente de la biomasa, expresado en kilogramos de elemento por tonelada de biomasa (Raison y Crane 1981). El valor inverso se denomina eficiencia. Este indicador se calculó para el fuste y la copa y da una visión del aprovechamiento de los elementos nutritivos en la producción de biomasa. Un mayor costo o mayor valor del índice demuestra una menor eficiencia del rodal para producir su biomasa.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estabilidad nutritiva de los sitios. En todos los sitios y en todos los elementos nutritivos el IRV muestra una tendencia natural decreciente con el aumento de la profundidad del suelo considerada (figura 2). Es decir, al abarcar mayor profundidad del suelo en el balance nutritivo, más estable resulta el sitio. Tal incremento de la estabilidad es especialmente notorio en el suelo superficial, que es más rico en elementos nutritivos con respecto a los horizontes más profundos. Ello se aprecia en la fuerte disminución del valor del IRV al aumentar la profundidad del suelo considerando los primeros centímetros.

Nitrógeno: En general, y como era de esperar, el arenal presenta la menor estabilidad con respecto al nitrógeno de reserva, asociado a un horizonte A incipiente y de bajo contenido de materia orgánica. Los otros suelos se agrupan con una tendencia muy parecida entre ellos, demostrando mayor estabilidad. El suelo derivado de rocas graníticas representa a aquellos sin daños por erosión, lo que explica su alta estabilidad.

Fósforo: Con relación a las reservas de este elemento en el suelo, se aprecia que el sedimento marino presenta un alto grado de inestabilidad. En cambio, y como es conocido, los suelos volcánicos jóvenes (arenas y cenizas) muestran una alta estabilidad debido a sus mayores reservas de fósforo. En una situación intermedia se encuentran los suelos granítico y rojo arcilloso, demostrando este último un menor grado de estabilidad.

Potasio: Respecto a las reservas en el suelo, se destacan los sitios con suelos de cenizas volcánicas, sedimentos marinos y arenales por su alta inestabilidad. Por otro lado, sólo el suelo granítico demuestra una muy alta estabilidad en función de sus grandes reservas de este elemento. El suelo rojo arcilloso ocupa una posición intermedia pero con tendencia a la inestabilidad. Al considerar la fracción intercambiable de potasio, se aprecia que todos los suelos presentan una muy alta inestabilidad. Ello se mantiene al analizar el IRV inclusive hasta 50 cm de profundidad del suelo. Especialmente críticos se muestran los suelos de arenas y sedimento marino; luego está el suelo de ceniza volcánica. En condiciones menos desfavorables se encuentran los suelos granítico y rojo arcilloso, muy parecidos entre sí.

Calcio: Todos los sitios muestran un muy alto grado de estabilidad frente a las reservas de calcio. El de mayor estabilidad es el suelo de arenas; le sigue el grupo formado por el rojo arcilloso, granítico y ceniza volcánica; finalmente se encuentra el sedimento marino. Con respecto a la fracción de intercambio, los suelos granítico, ceniza volcánica y sedimento marino presentan un moderado nivel de estabilidad. Las arenas y el rojo arcilloso alcanzan un nivel de inestabilidad en el suelo superficial, el cual mejora al considerar un estrato de más de 15 cm de profundidad de suelo.

Magnesio: Con respecto a la fracción de reserva, todos los sitios muestran un muy alto grado de estabilidad. Ello se manifiesta a través de todo el perfil del suelo, alcanzando los más bajos valores del IRV en comparación a nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. Sin embargo, al considerar la fracción intercambiable del suelo, se observa una muy alta inestabilidad de las arenas, un grado de inestabilidad moderada en la ceniza volcánica y el rojo arcilloso, y moderada estabilidad en el sedimento marino y granítico.

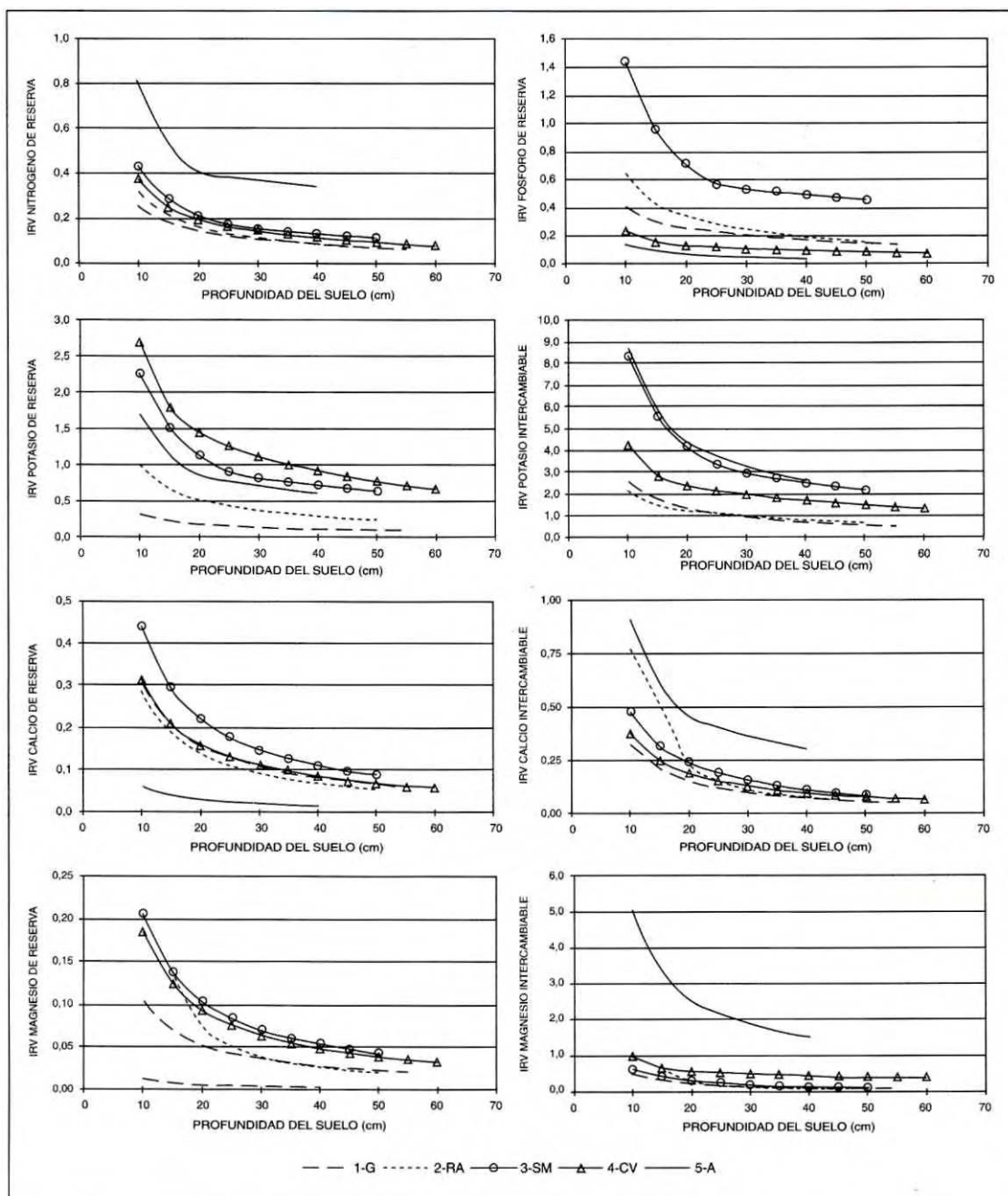


Figura 2. Índice de reserva de la vegetación (IRV) para los sitios con plantaciones de 25 años de edad sobre suelos: granítico (1-G), rojo arcilloso (2-RA), sedimento marino (3-SM), ceniza volcánica (4-CV) y arenal (5-A). Vegetation reserve index (IRV) for sites with 25-year-old plantations on soils: granitic (1-G), red clay (2-RA), sea sediment (3-SM), volcanic ash (4-CV) and sand (5-A).

El IRV muestra el importante papel que tiene el horizonte superficial en el balance nutritivo y los efectos que puede producir la erosión de éste en los distintos suelos. Las pérdidas de suelo para el balance nutritivo de un sitio resultan más graves en la medida en que el sitio es más inestable, lo que se aprecia en su mayor IRV.

En las condiciones de calidad de sitio actual la estabilidad de los sitios (cuadro 1) se relaciona más con el tipo de suelo que con el nivel de productividad. Así, se aprecia que los sitios de alta productividad (sedimento marino y ceniza volcánica) comparten una alta inestabilidad respecto al potasio, pero difieren en magnesio intercambiable. En los sitios de productividad media, el de suelo rojo arcilloso es de menor estabilidad en general con respecto al de suelo granítico. Como era de esperar, el sitio de baja productividad (arenal) presenta la menor estabilidad general. Sin embargo, este último suelo, por su origen andesítico-basáltico y su reciente formación, presenta muy altas reservas de bases (Ca y Mg), pero bajos niveles de materia orgánica.

No obstante lo anterior, la productividad de estos sitios está determinada, en primer lugar, por factores climáticos (balance hídrico) y estructurales del suelo (régimen de agua) (Gerding y Schlatter 1995, Schlatter y Gerding 1999) y, en forma secundaria, por el régimen de elementos nutritivos. Es decir, la dinámica del régimen de elementos nutritivos, en condiciones de fertilidad actual, permite un adecuado abastecimiento de nutrientes a los árboles. Por ello en la actual rotación es posible una movilización de los elementos nutritivos en el suelo que determina un nivel nutricional adecuado en los rodales.

Sin embargo, de acuerdo con el IRV, este equilibrio actual no está garantizado para las rotaciones sucesivas en todos los casos y es de esperar que, en el largo plazo (segunda o tercera rotación), ocurra una insuficiencia de ciertos elementos nutritivos para mantener una productividad como la de la presente rotación. Más aún, si para las próximas rotaciones se mejoran ciertas limitantes estructurales de algunos suelos, deberá notarse más el déficit de elementos nutritivos en función de la ley del factor mínimo.

Lo anterior debe ser materia de preocupación en el manejo de las plantaciones de pino de acuerdo con el tipo de suelo (y las características particulares de cada sitio), ya que cada uno de ellos, independientemente del nivel de productividad

que permitan, presenta ciertas debilidades y fortalezas propias de su origen y evolución. Por ejemplo, a futuro las principales deficiencias nutritivas de esperar son: en el suelo granítico el potasio, aunque sus altas reservas podrían abastecer adecuadamente la fracción de intercambio, lo que debe estudiarse a través de la dinámica de este elemento en el suelo; en el rojo arcilloso las bases (K, Ca, Mg), debido a su baja reserva general y, principalmente, de potasio; en el sedimento marino el fósforo y el potasio, y deberá evitarse especialmente la pérdida de materia orgánica; en el suelo de ceniza volcánica el fósforo, potasio y magnesio, por sus bajas proporciones en la fracción disponible; y en el arenal el potasio y el nitrógeno, y también se debe cuidar fundamentalmente el contenido de materia orgánica de este suelo en beneficio de las bases intercambiables y del nitrógeno disponible.

Por otra parte, se debe considerar que el aprovechamiento de los elementos nutritivos del suelo es sólo parcial, ya que depende en gran medida del grado de arraigamiento. Por lo tanto, pueden encontrarse grandes diferencias entre los sitios. Además, estas plantaciones tienen una tendencia normal de disminución de la densidad de raicillas con el aumento de la profundidad del suelo y, por lo tanto, el aprovechamiento de los nutrientes a mayor profundidad disminuye. Ello significa que el incremento de estabilidad (menores IRV) de los sitios al abarcar mayor profundidad del suelo debe considerarse con precaución y no estrictamente proporcional a la profundidad del suelo. No obstante, el análisis integral de los sitios desde el punto de vista del ecosistema debe considerar una profundidad del suelo donde se desarrolle la mayor proporción de raicillas, es decir, debe considerarse idealmente todo el suelo ocupado por el bosque. En este sentido se aprecia que hasta una profundidad de 50 cm de suelo, el IRV muestra importantes diferencias entre sitios, según sean el elemento nutritivo y su forma en el suelo.

De acuerdo con los resultados discutidos más arriba, el IRV permite evaluar un sitio en particular y comparar distintos sitios de acuerdo con las características nutricionales que presenten. Por otro lado, este indicador también permite proyectar el comportamiento de una plantación forestal con respecto al balance nutritivo en un sitio determinado. No obstante la valiosa información que se puede derivar del IRV, su utilización es poco frecuente, probablemente porque su cálculo requiere

CUADRO 1

Evaluación del índice de reserva de la vegetación (IRV).
Evaluation of the vegetation reserve index (IRV).

Tipo de suelo (sitio)	Nivel del IRV	Elemento nutritivo	
		Según reservas del suelo	Según fracción intercambiable del suelo
Granítico (1-G)	Muy inestable Inestable Estable Muy estable	- - N, P, K, Ca Mg	K - Ca, Mg -
Rojo arcilloso (2-RA)	Muy inestable Inestable Estable Muy estable	- K N, P, Ca Mg	K Ca, Mg - -
Sedimento marino (3-SM)	Muy inestable Inestable Estable Muy estable	P, K - N, Ca Mg	K - Ca, Mg -
Ceniza volcánica (4-CV)	Muy inestable Inestable Estable Muy estable	K - N, P, Ca Mg	K Mg Ca -
Arenal (5-A)	Muy inestable Inestable Estable Muy estable	K N - P, Ca, Mg	K, Mg Ca - -

de datos difícilmente disponibles para la generalidad de los sitios

Costo de elementos nutritivos en las plantaciones. El costo de elementos nutritivos varía de acuerdo con el elemento en cuestión, el tipo de tejido vegetal, el sitio y la biomasa del rodal (cuadro 2). Naturalmente los elementos mayores presentan costos más altos que los elementos menores. El costo de elementos nutritivos es una expresión de la concentración de los elementos en la biomasa y,

como su nombre lo indica, puede asociarse a un valor en dinero respecto de lo que cuesta la producción de biomasa desde el punto de vista de cada elemento

La copa presenta mayores costos de elementos nutritivos que el fuste, debido a la participación de tejidos más ricos en elementos como las acúculas y las ramillas. En el fuste, en cambio, domina la proporción de madera que es un tejido pobre en estos elementos nutritivos y, consecuentemente, es menor el costo de elementos (Gerding 1991).

Al aumentar la biomasa, cambian las proporciones de los distintos tejidos del árbol incidiendo en el costo de elementos nutritivos. En árboles de mayor biomasa se presenta mayor proporción de fuste y, dentro de éste, mayor proporción de madera (Schlatter y Gerding 1999). Así, la tendencia es a disminuir el costo de elementos nutritivos del fuste a medida que el árbol crece. En el caso de la copa esta tendencia no es tan evidente, pues se ve modificada fuertemente por factores del sitio y del manejo (más notorio que en el caso del fuste). Por ejemplo, en los rodales que crecen en suelos de arenales se ha encontrado una mayor proporción de copa que en rodales de igual biomasa total creciendo en suelos de otro origen; y al interior de la copa una mayor proporción de acículas y ramillas (Gerding 1991). Por esta causa se espera que los rodales en suelos de arenales tengan un mayor costo de elementos nutritivos, si logran un adecuado abastecimiento nutritivo.

Estas interrelaciones entre la oferta nutritiva del suelo y el mayor contenido nutritivo del follaje (costo de elementos nutritivos) responden en su conducta como lo enunciado a principios de este siglo en la ley de los rendimientos decrecientes (Finck 1979). Esta ley indica que el rendimiento de un cultivo no reacciona en forma rectilínea frente al aumento de la oferta de los elementos nutritivos en el suelo, sino que lo hace en forma decre-

ciente, con la tendencia a culminar. Esto explica por qué ante una mayor oferta del suelo, el costo de elementos nutritivos es mayor.

La tendencia a aumentar el costo de elementos nutritivos cuando la oferta de éstos es mayor en el suelo, se observa en el ejemplo de los elementos calcio y magnesio en el suelo arenal. Este suelo presenta muy baja disponibilidad pero altas reservas de tales elementos y otorga un alto costo de estos elementos nutritivos tanto en la copa como en el fuste. Es decir, la movilización de estos elementos nutritivos desde la fracción de reserva hacia la fracción disponible en el suelo responde a un ritmo adecuado para la demanda de la plantación en ese sitio, permitiendo un buen suministro de ellos. Sin embargo, la regularidad y cuantía del flujo nutritivo en el suelo depende de otros factores como, por ejemplo: el régimen de agua del suelo y el clima (oferta de agua y nivel de temperatura).

Un mayor abastecimiento nutritivo no siempre está asociado a una mayor productividad. Esto puede concluirse desde el ejemplo de las plantaciones sobre los suelos de cenizas volcánicas y de sedimentos marinos. En estas plantaciones los suelos presentaron una oferta comparativamente baja de potasio y magnesio, pero aún así son los sitios de más alta productividad. Esto se explica, por una parte, debido a que la disponibilidad de estos

CUADRO 2

Costo de elementos nutritivos en las plantaciones (kg elemento/t biomasa).
Cost of nutrient elements in the plantations (kg element/t biomass).

Sitio	Vuelo	Elemento					
		N	P	K	Ca	Mg	B
1-G	Fuste	0.76	0.09	0.85	0.75	0.27	0.004
	Copa	5.00	0.78	3.70	2.33	0.94	0.010
2-RA	Fuste	0.45	0.07	0.58	0.93	0.26	0.003
	Copa	5.56	0.83	3.85	2.50	1.01	0.010
3-SM	Fuste	0.86	0.09	0.74	0.65	0.23	0.003
	Copa	5.17	0.67	3.61	2.10	0.75	0.007
4-CV	Fuste	0.65	0.07	0.90	0.93	0.24	0.002
	Copa	4.48	0.62	3.43	2.62	0.95	0.011
5-A	Fuste	0.81	0.09	0.89	1.20	0.32	0.004
	Copa	5.69	0.91	3.30	3.50	1.31	0.009

elementos es baja, pero no hasta niveles críticos, y, por otra, por las favorables condiciones del clima y del suelo (textura media a fina, estructura espaciada y alta capacidad de agua aprovechable) que se observaron en estos sitios. De acuerdo con Schlatter y Gerding (1999), la mayor ponderación de los factores del clima y físicos del suelo en la productividad, es la causa del buen resultado en estos sitios. Esta relación de alto rendimiento producto de las favorables condiciones de sitio, aunque la oferta nutritiva sea relativamente baja en el suelo, ya fue identificada por Fiedler *et al.* (1965) en Europa Central en el ejemplo de *Picea abies*.

CONCLUSIONES

La aplicación a cinco sitios con *P. radiata* de la VIII Región del método de evaluación conocido como el índice de reservas de la vegetación permitió identificar los elementos nutritivos que podrían estar en cantidades insuficientes en cada uno de ellos. Esto permitiría orientar la búsqueda de estrategias para mantener una productividad similar a la actual en el largo plazo.

Los resultados del método aplicado sugieren que el suelo de origen granítico es el que presenta las menores limitaciones; el suelo derivado de cenizas volcánicas holocénicas presenta sus mayores debilidades en el elemento potasio y, probablemente también, en magnesio. El suelo de sedimentos marinos evidencia riesgos de insuficiencias de fósforo y potasio; el rojo arcilloso de potasio, calcio y magnesio, y el derivado de arenas, de nitrógeno y potasio principalmente.

Sitios de productividad similar presentaron un balance nutritivo diferente, con diversos grados de estabilidad o inestabilidad, de acuerdo con sus características edáficas más que con el nivel de biomasa producido. Las consecuencias de estas diferencias deberían notarse en la productividad de largo plazo, por lo que el manejo de cada sitio debería ser más específico.

La mayor estabilidad de los suelos depende en gran medida del grado de arraigamiento del suelo. Es decir, del espacio de suelo susceptible de ser arraigado, lo que indica la necesidad de mantenerlos con una adecuada condición física (evitar la compactación).

En sitios de favorables condiciones climáticas para la especie y con suelos de buenas características y propiedades físicas, aun con una oferta

nutritiva baja, la productividad puede ser alta a muy alta en *P. radiata*.

El costo de elementos nutritivos de un rodal depende de la edad, de la acumulación de biomasa y de su distribución. Rodales de menor edad o menor biomasa acumulada muestran una mayor proporción de copa y, por lo tanto, mayor costo de elementos nutritivos en comparación a los fustes.

En suelos con más oferta de elementos nutritivos el costo de la producción de biomasa es mayor (la eficiencia es menor), coincidiendo esto con los enunciados de la ley de los rendimientos decrecientes.

BIBLIOGRAFIA

- ARANCIBIA, C. 1999. Características y variabilidad de sitios con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en suelos de dunas y sedimentos marinos de las Regiones VII y VIII. Tesis Ing. Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 118 p.
- DELMASTRO, R., J.E. DIAZ-VAZ, J.E. SCHLATTER. 1981. Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del *Pinus radiata* (D. Don). Serie Técnica. Informe de convenio N° 43, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 187 p.
- EDWARDS, A. 1997. Características y variabilidad de arenales de la VIII Región, plantados con *Pinus radiata* D. Don. Tesis Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 102 p.
- FASSBENDER, H., E. BORNEMISZA. 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José (Costa Rica), 420 p.
- FIEDLER, H. J., W. HUNGER, K. PALME. 1965. "Über den Ernährungszustand optimalwüchsiger, älterer Fichten auf terrestrischen Böden unterschiedlicher Trophie", *Arch. Forstw.* 14(9): 987-1001.
- FINCK, A. 1979. *Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen.* Verlag Chemie. Weinheim, New York, 442 p.
- GERDING, V. 1991. *Pinus radiata*-Plantagen in Zentralchile: Standortfaktoren der Produktivität und Nährstoffverteilung in Beständen. Tesis Dr. Forstwissenschaftlichen Fachbereichs, Georg-August-Universität, Göttingen, 182 p.
- GERDING, V. 1993. Estabilidad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don: Extracción y pérdida de elementos nutritivos asociados al manejo. En: Suelos Forestales, Boletín de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo 10: 56-63.
- GERDING, V., J.E. SCHLATTER. 1995. "Variables y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile", *Bosque* 16 (2): 39-56.
- LEONELLI, M. 1998. Características y variabilidad de sitios con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en suelos rojo arcillosos de la provincia de Malleco. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 73 p.
- OÑATE, M. I. 1997. Características y variabilidad de sitios con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en suelos graníticos de las Regiones VIII y IX. Tesis Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 93 p.

- PETERS, R., J.A. PRADO, S. AGUIRRE, M. KUNTZ, V. CUBILLOS. 1985. Mantención de la productividad de sitio para *Pinus radiata* D. Don. Funciones de biomasa. Instituto Forestal, Santiago, 64 p.
- RAISON, R. J., W.J.B. CRANE. 1981. Nutritional costs of shortened rotations in plantation forestry. In: Proceedings 17. IUFRO World Congress. Div. 1. pp. 63-72.
- ROJAS, Y. 1997. Características y variabilidad de sitios con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en suelos de cenizas volcánicas de las Novena y Décima Regiones. Tesis Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 85 p.
- RUIZ, M. A. 1998. Características y variabilidad de sitios con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en suelos de cenizas volcánicas de las Regiones VIII y IX. Tesis Ing. Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 84 p.
- SCHLATTER, J.E. 1986. Mantención de la productividad de sitio para plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. B: Determinación del contenido de elementos nutritivos en la biomasa, mantillo y suelo. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. Serie Técnica. 11 p.
- SCHLATTER, J. E., V. GERDING. 1998. Fundamentos de la productividad en el ejemplo de cinco sitios con *Pinus radiata* D. Don, característicos de la VIII Región. En: Actas de la X Silvotecnica e IUFRO Conference "Mejoramiento Productividad de Sitios", junio 1998, Concepción, pp.353-373.
- SCHLATTER, J. E., V. GERDING. 1999. "Fundamentos de la productividad en el ejemplo de seis sitios con *Pinus radiata* D. Don, característicos de la VIII Región", *Bosque* 20(1): 65-77.