

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN TRES SISTEMAS DE USO EN UN SUELO DEL SUR DE CHILE¹

Nutrient availability determination under three systems of soil use in the south of Chile

José Domingo Opazo A.², Walter Luzio L.², Carlos Bascur P.²

ABSTRACT

The use of soils affects their properties and edaphic characteristics such as nutrient availability, depending upon soil management practices. The largest impacts are due to native forest destruction and tillage in steep slopes which accelerate soil erosion, therefore resulting in the lost of the most fertile horizons. In order to evaluate the impact of three systems of soil use upon some soil properties, samples from the surface and subsurface horizons were obtained from soil pits, allowing the proper definition of the two more superficial soil horizons to be achieved.

Total carbon (Ct), total nitrogen (Nt) and inorganic nitrogen (Ni) values were determined as well as the available fractions, or available indexes of phosphorus, potassium, magnesium, sulphur and boron.

The Ct content was not affected by the soil use, which reflects its stability in the sampled soils. C/N ratios were very high in the natural pasture and exotic forests (BE) soils with values of 17.7 and 20.3, respectively. Litter had a Ct content of 57.1% in the native forest (BN). The largest impact on Nt occurred in the BE soil. The Ni contents were medium to high despite the high rainfall of the zone. The BE soil presented an accumulation of K and Mg in the surface horizon which is likely due to a litter effect. Sulphur and boron contents were adequate.

Key words: soils, soil fertility, nutrients availability.

INTRODUCCIÓN

En la Cordillera de la Costa de la provincia de Valdivia el uso dado a los suelos corresponde, por lo general, a pradera natural, bosque nativo con distintos grados de intervención y en los últimos años a plantaciones de bosque exótico.

Son suelos no fertilizados, lo que permite identificar con mayor claridad el efecto que el uso del suelo pudiera tener en la disponibilidad de nutrientes.

Luzio *et al.* (1996) señalan que corresponden a suelos metamórficos que presentan una cubierta de cenizas volcánicas de espesor variable. Esta situación no es extraña para la zona de estudio pues, con anterioridad, Ibarra *et al.* (1987) hicieron referencia a un suelo metamórfico con cenizas volcánicas en la localidad de Los Ulmos.

¹Recepción de originales: 3 de junio de 1997.
Investigación financiada por el proyecto FONDECYT N° 1950852.

²Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Casilla 1004, Santiago, Chile.
E-mail: jopazo@abello.dic.uchile.cl

Según Luzio *et al.* (1997) el suelo bajo pradera natural y el suelo bajo bosque nativo fueron clasificados como Typic Hapludand y el suelo bajo bosque exótico fue clasificado como Andic Dystrochrept. Estos suelos son derivados de roca metamórfica pero presentan una cubierta de ceniza volcánica de espesor variable.

Probablemente el nutriente más difícil de analizar en los sistemas naturales es el nitrógeno; si bien todos los nutrientes tienen una dinámica muy particular en los sistemas naturales, el nitrógeno está regido por más procesos en los cuales influyen múltiples factores.

En los sistemas naturales el proceso más importante es la fijación de N molecular (N_2) por microorganismos y le sigue la precipitación atmosférica, cantidades anuales de 9,2 kg de N por ha^{-1} y 3,6 kg de N ha^{-1} , respectivamente, que sumados implican un aporte anual de 12,8 kg de N ha^{-1} (Stevenson, 1982). Estos valores pueden ser demasiado bajos en cultivos con leguminosas, y altos en suelos degradados o en suelos desérticos. La materia orgánica se estabilizaría a través de la asociación físicoquímica de los materiales húmicos con los minerales presentes en los suelos, formándose complejos órgano-metálicos y órgano-arcillosos.

Hauck y Tanji (1982) señalan que en los ecosistemas forestales los aportes naturales son a través de la fijación biológica y precipitación atmosférica, pero también señalan como fuente a la meteorización del material parental, y que la meteorización química y física de las rocas y minerales, asociado con la materia orgánica solubilizan N y otros nutrientes. Stevenson (1982) señala que la cantidad de N en las rocas es alrededor de 50 veces a la presente en la atmósfera, mientras que la cantidad presente en esta última es 5.000 veces a la existente en los suelos.

Los ecosistemas forestales difieren mucho en las cantidades y tasas de los ciclos nutricionales, desde luego el bosque templado del tropical, el

caducifolio con el de coníferas. Por tanto, generalmente la información es parcial, salvo que se realice un exhaustivo estudio durante muchos años.

Alrededor del 23% de la corteza terrestre está ocupada por praderas naturales, en éstas el nitrógeno y el agua son limitantes. La disminución del nitrógeno implica menor producción de biomasa lo que es interpretado, por algunos autores, como las etapas iniciales de desertificación para los sistemas naturales.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos del uso del suelo en la disponibilidad de algunos nutrientes en tres sistemas silvoagropecuarios muy comunes de la zona sur.

MATERIALES Y MÉTODOS

En los mismos sitios descritos por Luzio *et al.* (1997), ubicados a 10 km de Valdivia por el camino a Curiñanco ($39^{\circ} 50'$ de Lat. S y $73^{\circ} 16'$ de Long. O), se tomaron muestras, en calicatas, de los primeros dos horizontes, descartando el mantillo en el suelo con bosque nativo (BN). Las profundidades de los horizontes fueron muy similares, 0-12 cm (horizonte superficial) y 12-27 cm (horizonte subsuperficial), en los tres suelos con distinto sistema de uso: bosque nativo (BN), pradera natural (PN) y bosque exótico (BE).

Los tres sitios debían corresponder a una misma serie de suelos, para lo cual se utilizó la cartografía disponible además de las observaciones de terreno. Los tres sitios se distanciaban uno de otro en aproximadamente 1.000 m. Cada una de las calicatas se ubicó en un punto muy representativo del uso dado al suelo. La descripción de los perfiles fue informada por Bascur (1998). Las muestras de suelos se tomaron en las calicatas. No se consideró necesario por los objetivos del estudio considerar un número mayor de calicatas, ya que cada una representaba bien cada sistema de uso del suelo, dentro de los objetivos propuestos.

Caracterización de los sitios

El BN corresponde al denominado bosque valdiviano, con un grado moderado de intervención antrópica, algunas de las especies identificadas en el estrato arbóreo fueron: *Nothofagus dombeyi* (coigüe), *Nothofagus obliqua* (roble), *Laurelia sempervirens* (laurel), *Myrceugenia ovata* (arrayán) y en el sotobosque: *Aristotelia chilensis* (maqui) *Lapageria rosea* (copihue), *Rubus* sp. (zarzamora), *Gevuina avellana* (avellana), *Drymis winteri* (canelo).

La PN corresponde a la pradera natural en la cual se identificaron especies como: *Lolium* spp., *Trifolium* spp., *Bromus* spp., *Dactylis glomerata* (pasto ovillo), *Holcus lanatus* (pasto miel), *Lotus uliginosus* (alfalfa chilota), *Agrostis tenuis* (chépica), *Plantago* sp. (siete venas). La pradera no era fertilizada y la presión de pastoreo por la vegetación existente se puede estimar como moderada.

El BE corresponde a un bosque de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) de cinco años de edad, plantado luego de la tala sin quema, de un bosque de *Pinus radiata* de 45 años de edad con un manejo muy tradicional, el estrato inferior estaba muy controlado presentándose sólo una maleza arbustiva no identificada.

Análisis químico de suelo

Carbono total, determinado por el método de oxidación por vía húmeda de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982); nitrógeno total, método de digestión Kjeldahl (Sadzawka, 1990); materia orgánica (MO) se calculó aplicando el factor 1,72 x contenido de C total; nitrógeno inorgánico, método de Bremner y Keeney (Sadzawka, 1990), fósforo, método de Olsen (Sadzawka, 1990); potasio y magnesio, método del acetato de amonio, 1 N, pH 7,0; azufre, disponible extracción con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L⁻¹ y determinación por turbidimetría; boro, método de extracción con agua caliente y determinación colorimétrica con Azometina-H (Sadzawka, 1990). La retención de fósforo

se determinó por el método de Blakemore *et al.* (1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aporte de este estudio es la evaluación, bajo condiciones similares, del impacto que causa el uso diferente del suelo sobre algunas características edáficas y nutricionales. Para investigaciones de esta naturaleza, es recomendable considerar mayor cantidad de sitios; sin embargo, se presenta la dificultad de encontrar lugares donde un mismo suelo tenga usos diferentes, de tal manera que el factor variabilidad del suelo sea una constante.

Carbono total y materia orgánica

El contenido de carbono total fue bastante similar en los tres suelos, bajando considerablemente los contenidos en el horizonte subsuperficial, sólo en BN es algo más alto (Cuadro 1). En el Bosque Nativo (BN) el contenido de C total en el mantillo alcanzó un valor de 57,1% y el horizonte mineral superficial baja a 15,3%, similar a PN (15,8%) y un poco más bajo en comparación a BE (13,0%).

El Bosque Exótico (BE) tiene el contenido más bajo, al comparar los tres sistemas de uso; el efecto no deja de tener relevancia, ya que no es fácil provocar una variación de un 4% en el contenido de MO en un suelo, al comparar los valores del BN con el BE. Los contenidos más bajos de MO en el horizonte subsuperficial en PN y BE en comparación al BN implican una menor acumulación en dichos sistemas.

Los valores de relación C/N fueron muy similares a los informados por Opazo (1982) en suelos derivados de cenizas volcánicas en la X Región, con contenidos de CO y N muy similares, lo cual confirma la hipótesis de una depositación superficial de material volcánico sobre el metamórfico en estos suelos. Sadzawka *et al.* (1995) en un suelo señalado como Cordillera de Nahuelbuta en la VIII Región midieron valores más bajos de CO y N total.

Cuadro 1. Contenido de carbono total, nitrógeno total, relación carbono nitrógeno y materia orgánica en suelos con distinto uso en el sector de Valdivia

Table 1. Total carbon, total nitrogen, carbon: nitrogen ratio and organic matter contents in soils with different use in the Valdivia area

Uso	Profundidad (cm)	Carbono total (%)	Nitrógeno total (%)	Relación C/N	Materia Orgánica (%)
Bosque nativo	0-10	15,33	1,21	12,7	26,4
	10-27	7,87	0,48	16,4	13,5
Pradera natural	0-12	15,76	0,89	17,7	27,1
	12-27	4,77	0,42	11,4	8,2
Bosque exótico	0-11	13,02	0,64	20,3	22,4
	11-26	4,97	0,26	19,1	8,5

Según Duchaufour, citado por Peralta *et al.* (1993) los distintos tipos de humus son clasificados según la relación C/N; el humus tipo Mull tiene menos de 15, de 15 a 25 para el Moder y sobre 25 para el Mor. En estos suelos para PN y BE correspondería a un humus tipo Moder, y en el BN es tipo Mull. Schlatter y Otero (1995) en un sitio de Valdivia en suelo rojo arcilloso de origen volcánico describen también un humus tipo Mull, lo cual corrobora estos resultados, índice del impacto del uso del suelo en sus características.

Nitrógeno total (Nt)

El N total es más alto en el BN, lo cual es un impacto natural muy conocido. La eliminación del BN implica una disminución del N total en los suelos, siendo más acentuado este efecto en el caso del uso con BE, ya que en ambos horizontes el contenido es el más bajo (Cuadro 1).

En general, en los suelos los nutrientes se acumulan en las estratas orgánicas, lo que se hace más relevante en los suelos con uso forestal.

Nitrógeno inorgánico (Ni)

Corresponde a un parámetro muy variable en los suelos y sólo se puede considerar para tener

una estimación muy general en el momento en que se tomó la muestra.

Se utilizará el concepto de índices de disponibilidad (Cuadro 2); el Ni no representa la capacidad real de suministro del suelo, ya que la fracción disponible depende del nitrógeno orgánico mineralizable.

Rojas (1990) realizó un estudio para estimar el N disponible y el N orgánico en los suelos, en el cual señala que la conducta del Ni es muy dinámica e incluye numerosas interacciones de carácter complejo con la MO y con los microorganismos del suelo. Entre los índices destacó el N mineralizado aeróbico por 14 días de incubación a 30°C, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,85$, no obstante el Ni (NH_4^+ ; NO_3^- ; NO_2^-) tuvo un $R^2 = 0,79$ con el rendimiento parte aérea y raíces.

En los horizontes superficiales del BN y PN los niveles de Ni son medios y en el BE es alto, disminuyendo considerablemente en el horizonte subsuperficial a un valor de 4 mg kg^{-1} , lo cual estaría indicando para este caso que el suministro de N tiene una absoluta relevancia en el horizonte superficial. En la PN se presentó una distribución más uniforme del Ni en profundidad.

Cuadro 2. Índices de disponibilidad de nutrientes en los horizontes superficiales de suelos con distinto uso en el sector de Valdivia**Table 2. Nutrients availability indexes in surface horizons of soils with different use in the Valdivia area**

Uso	Profundidad (cm)	Nitrógeno inorgánico	Fósforo	Potasio	Magnesio	Azufre	Boro
		----- mg kg ⁻¹ -----					
Bosque nativo	0-10	27	5	155	61	36	1,5
	10-27	11	2	54	66	62	1,0
Pradera natural	0-12	24	5	145	68	44	0,8
	12-27	16	1	51	27	93	1,0
Bosque exótico	0-11	54	4	220	185	26	0,4
	11-26	4	1	63	58	31	1,0

Fósforo disponible (Pd)

Los contenidos de fósforo disponible (Pd) fueron bajos en los suelos estudiados (Cuadro 2), especialmente en los horizontes subsuperficiales, lo que estaría relacionado con las propiedades ándicas de estos suelos pero también con un estado de degradación de la fertilidad. En los tres sistemas de uso el patrón es muy similar, lo que indicaría que son suelos que no han sido o han sido muy poco fertilizados.

Sadzawka *et al.* (1995) en un bosque nativo de la Cordillera de Nahuelbuta en la VIII Región, en profundidades similares a las consideradas en este estudio determinaron valores de 11 mg kg⁻¹ y 3 mg kg⁻¹, respectivamente, y en un bosque exótico (*Pinus radiata*) encontraron valores de 3 mg kg⁻¹ y 1 mg kg⁻¹, respectivamente. Particularmente en el BE la situación es muy similar. En el mantillo del BN, que en este trabajo no se consideró, Sadzawka *et al.* (1995), determinaron un contenido de Pd de 112 mg kg⁻¹, en la hojarasca y mantillo, y a los 20 cm el Pd bajó a 3,5 mg kg⁻¹.

Sadzawka *et al.* (1995) señalan que el Pd en los suelos forestales está en niveles adecuados en los horizontes orgánicos, pero disminuye marcadamente con la profundidad, a niveles que para un suelo agrícola serían francamente deficientes,

pero que para un suelo forestal podría no serlo, debido al rol que juegan las micorrizas en la nutrición fosfatada de los árboles.

La retención de fósforo en los suelos fue bastante alta en todo el perfil; en los horizontes superficiales superó el 95% (método de Blakemore). Sólo en el horizonte orgánico del BN fue menor 52%; la materia orgánica acumulada en el mantillo disminuye la retención de fósforo.

Potasio (Kd) y magnesio (Mgd)

Los contenidos de potasio disponible fueron altos en los horizontes superficiales de los suelos estudiados, lo que se explica porque no son suelos con una agricultura intensiva; por lo general los suelos del país tienen contenidos de potasio altos, como se puede apreciar en los niveles que señala Rodríguez (1993).

Rodríguez (1993) para el suelo Nahuelbuta señala niveles de 200 a 320 mg kg⁻¹, no obstante los niveles de Kd dependerán del historial de uso del suelo. Una característica que resalta es la fuerte disminución del potasio en los horizontes subsuperficiales.

Los contenidos de magnesio también son suficientes, no obstante que en el BN y PN están

casi en el límite del nivel crítico de 60 mg kg^{-1} ($0,5 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$). En la PN y BE los contenidos bajan acentuadamente en el horizonte subsuperficial, lo que no ocurre en el perfil del BN. Sadzawka *et al.* (1995) señalan que el magnesio está en niveles absolutos bastante bajos en algunos suelos. Concluyen que en general los nutrientes se acumulan en los horizontes orgánicos, por lo cual es difícil la interpretación de la fracción disponible de nutrientes en los sistemas forestales.

Contenidos de magnesio disponible medios a bajos son comunes en suelos de la X Región. Al respecto, Opazo (1993), al considerar 20 muestras de suelos de la X Región encontró que en un 50% de éstas los contenidos de magnesio estaban bajo el nivel crítico, no obstante correspondían a suelos agrícolas con un uso más intensivo que los suelos que se consideraron en este estudio.

En el BE se encontró una acumulación de K y Mg en el horizonte superficial probablemente por efecto del mantillo.

Azufre disponible

El azufre en forma similar al nitrógeno es un elemento muy dinámico en los sistemas naturales. Los contenidos determinados en los suelos estudiados fueron altos, lo que constituyó un resultado no esperado. Las explicaciones pueden ser fundamentalmente dos: la primera es que no se trata de sistemas en los cuales exista una alta extracción del elemento, y la segunda es por la proximidad al océano, los aerosoles levantados del agua del mar por el viento constituyen un aporte de azufre. El sector de estudio se encuentra a 15 km en línea recta al océano.

Los resultados corroboran el movimiento de sulfatos en el perfil, en los horizontes subsuperficiales los valores son superiores.

Rodríguez (1993), en la X Región también encontró valores sobre 30 mg kg^{-1} de S-SO_4 . Los

resultados señalan que hay condiciones en las cuales se dan valores muy altos de azufre, pero en muchos casos es un azufre sulfato y la reserva de azufre no es alta, o bien el método extrae formas de azufre no lábiles, ya que dichos valores altos no deberían esperarse, salvo bajo condiciones conocidas de altos aportes como fertilizante, ya que los sitios seleccionados en este estudio se caracterizaban por un manejo sin fertilización por lo menos en el BN y PN.

Boro

En el país hay dos situaciones donde las deficiencias de boro han sido reconocidas y las aplicaciones de este nutriente son comunes: es el caso de la remolacha azucarera y del *Pinus radiata*. Probablemente los problemas de deficiencia de boro podrían abarcar otros cultivos pero no hay estudios que lo avalen.

Según la interpretación de los resultados en relación con los niveles críticos indicados en la literatura para el análisis del boro disponible en los suelos, los niveles críticos para el método de extracción con agua caliente y determinación colorimétrica con Azometina -H son del orden de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ a $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Un valor entre $1,0$ a $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ correspondería en general a la categoría adecuada. En los sistemas forestales es más compleja una interpretación por el efecto mantillo.

Johnson y Fixen (1990) señalan que sobre $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ pueden ser tóxicos.

Las aplicaciones de boro deben ser muy exactas, ya que fácilmente se puede pasar de un nivel de deficiencia a toxicidad.

Según los estándares citados en la literatura extranjera (Johnson y Fixen, 1990), los niveles de boro disponible en estos suelos serían medios a adecuados. En el BE se encontró el contenido más bajo y probablemente se relaciona con un

período de extracción más prolongado debido a la explotación forestal. En los sistemas forestales en Chile las deficiencias de boro se han identificado a través de los síntomas visuales y análisis foliar y en dichos trabajos no se incluye el análisis de boro disponible en los suelos.

Rodríguez (1993), informa para las series Correltúe, Pelchuquín y Malihue contenidos entre 0,6 y 1,4 mg kg⁻¹, muy parecidos a los del presente estudio. De acuerdo con estos antecedentes, los suelos de la X Región tendrían con frecuencia valores en torno al nivel crítico de disponibilidad, en ningún caso la situación es tan crítica como en las arenas del Laja; en estos suelos son comunes valores de 0,1 mg kg⁻¹ y las plantaciones de *Pinus radiata* sin aplicación de boro frecuentemente presentan síntomas de deficiencia y la fertilización con boro es una práctica común. En suelos graníticos muy erosionados también son frecuentes valores bajos de boro disponible.

CONCLUSIONES

El carbono total es un parámetro muy estable en los suelos estudiados y probablemente se deba a las propiedades ándicas de estos suelos como efecto de sucesivos aportes de cenizas volcánicas durante su pedogénesis.

Las relaciones C/N en los suelos con pradera natural y bosque exótico son más altas en comparación al horizonte mineral superficial del bosque nativo.

El bosque exótico afecta negativamente los contenidos de nitrógeno total bajo las condiciones estudiadas. El bosque exótico produce un incremento de potasio y magnesio en el horizonte superficial, probablemente por un contenido alto de estos nutrientes en el mantillo.

Los contenidos de azufre disponible son altos en los tres sistemas de uso, y los de boro, en general están en niveles adecuados.

RESUMEN

El uso de los suelos afecta sus propiedades, sus características edáficas y entre éstas la disponibilidad de los nutrientes, dependiendo del tipo de manejo de los suelos. Lo que causa el mayor impacto es la eliminación del bosque nativo y la labranza en condiciones de pendiente acelerando la erosión y provocando la pérdida de los horizontes más fértiles. Para evaluar el impacto de tres sistemas de uso del suelo se tomaron muestras de calicatas donde se pudieron separar bien los dos horizontes superficiales.

En las muestras se determinaron los contenidos de carbono total (Ct), nitrógeno total (Nt), nitrógeno inorgánico (Ni) y se analizaron las fracciones o índices de disponibilidad de los siguientes elementos: fósforo, potasio, magnesio, azufre y boro.

El contenido de Ct prácticamente no fue afectado por el uso del suelo, lo que indicaría que es muy estable en estos suelos, las relaciones C/N son bastante altas en la pradera natural (PN) y bosque exótico (BE), con valores de 17,7 y 20,3, respectivamente. En el bosque nativo (BN) el mantillo tuvo un contenido de Ct de 57,1%. El mayor impacto en el Nt se presentó en el suelo con BE. Los contenidos de Ni fueron medios a altos, no obstante las altas precipitaciones de la zona. En el BE se encontró una acumulación de K y Mg en el horizonte superficial probablemente por efecto del mantillo. Los contenidos de azufre y boro disponible fueron adecuados.

Palabras claves: suelos, fertilidad de suelos, disponibilidad de nutrientes.

LITERATURA CITADA

- BASCUR, C. 1998. Característica de los suelos derivados de roca metamórfica bajo condiciones de bosques y pradera natural en las regiones VIII y X de Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo, Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Agronomía. 69 p.
- BLAKEMORE, L.C.; SEARLE, P.L. AND DALY, B.K. 1987. Methods for chemical analysis of soils. Soil Bureau. Lower Hutt, New Zealand. N.Z. Bureau Sci. Rep. 80: 44-45.
- HAUCK, R.D. AND TANJI, K.K. 1982. Nitrogen transfer and mass balances. *In*: Stevenson, F.J. (Ed.). Nitrogen in agricultural soils. ASA, Inc., CSSA, Inc., SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 940 p.
- IBARRA, V.; SCHLATTER, J.E. Y GONZÁLEZ, C. 1987. Concentración y acumulación de azufre en la biomasa de *Pinus radiata* D. Don. Actas V Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Valparaíso, Chile. Universidad Católica de Valparaíso. p. 44-47.
- JOHNSON, G.V. AND FIXEN, P.E. 1990. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum, and chlorine. *In*: Westerman, R.L. (Ed.) Soil testing and plant analysis. Number 3, Soil Science of America Book Series. SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA. p. 265-273.
- LUZIO, W.; OPAZO, J.D. Y BASCUR, C. 1996. Influencia del uso en algunas propiedades de los suelos desarrollados sobre roca metamórfica y con influencia volcánica. 47° Congreso Anual de la Sociedad Agronómica de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. Resumen. p. 90.
- LUZIO, W.; OPAZO, J.D. Y BASCUR, C. 1997. Variación de algunas propiedades de los suelos sometidos a tres usos diferentes. *Agricultura Técnica (Chile)* 57 (1): 22-28.
- NELSON, D. AND SOMMERS, L. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In*: Page, A.L. (Ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 Serie in Agronomy 9. ASA, SSSA, Wisconsin, USA. p. 539-579.
- OPAZO, J.D. 1982. Disponibilidad de azufre en la Región de Los Lagos. Tesis Magister Scientiae. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. 140 p.
- OPAZO, J.D. 1993. Saturación básica y disponibilidad de magnesio en suelos Andisoles de la zona sur. *Simiente* 63 (4): 260. (Resumen).
- PERALTA, M.; MIKIN, M. Y SADZAWKA, A. 1993. Suelos forestales de roble maulino, *Nothofagus glauca*, en la asociación de suelos Constitución. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín N° 10. p. 160-172.
- RODRÍGUEZ, J. 1993. La fertilización de los suelos: un método racional. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. 291 p.
- ROJAS, C. 1990. Estimación del N-disponible y N-orgánico en suelos chilenos. Actas VI Congreso Nacional de la Ciencias del Suelo. Temuco, Chile. Universidad de La Frontera. p. 120-126.
- SADZAWKA, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago, Chile. Serie La Platina N° 16. 130 p.
- SADZAWKA, A.; PERALTA, M.; IBARRA, M.; PERALTA, J. Y FUENTE, J. 1995. Características químicas de los suelos forestales chilenos. *Bosque* 16 (1): 9-46.

SCHLATTER, J.E. Y OTERO, L. 1995. Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial. *Bosque* 16 (1): 29-46.

STEVENSON, F.J. 1982. Origen and distribution of nitrogen in soil. *In*: Stevenson, F.J. (Ed.) *Nitrogen in agricultural soils*. Number 22, Serie Agronomy. ASA, Inc., CSSA, Inc., SSSA, Inc. Wisconsin, USA. p. 1-42.