

POTENCIAL DE MINERALIZACION DE NITROGENO DE UN HAPLUDAND CON DISTINTOS MANEJOS AGRICOLAS.

NITROGEN MINERALIZATION POTENTIAL OF AN HAPLUDAND UNDER DIFFERENT AGRICULTURAL MANagements.

DANTE PINOCHET¹, JUDITH MENDOZA ¹y ARTURO GALVIS ²

¹Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Universidad Austral de Chile.
Casilla 567, Valdivia. Chile

²Departamento de Fertilidad de Suelos. Colegio de Posgraduados.
Campus Montecillos. 56330 Chapingo. México.

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effect of residues management on the potentially mineralizable nitrogen content (Npm) of an Hapludand, and to correlate this parameter (Npm) with other soil parameters. The Npm and the N mineralization constant rates (k) were determined for five sites under different forestry and agricultural management intensities. The forest sites were a secondary native forest and cypress forest, and the agricultural management were permanent pasture, rotational pasture and crops rotation. The soil sites were sampled at 0-10 cm and 10-20 cm of depth. The Npm and the mineralization constant rate were determined using the Stanford and Smith method, with minor modifications. The cumulative N mineralized values were fitted using a non-linear exponential model by two fitting procedures. The estimated values of Npm and mineralization rate constant (k) allowed establishing differences on the sites due to management. Potentially mineralizable N correlation with residual mineral N was not statistically significant. A lower correlation was found with total N and it was highly significant with soil organic matter and soil microbial biomass. Finally, a multiple correlation between Npm, soil microbial biomass and soil organic matter indicates that these two parameters could be used to estimate the potential of N mineralization of these soils.

Key words: Potentially mineralizable nitrogen, hapludand, soil organic matter, forestry and agricultural soil use.

Cien. Investig. Agr. 27(2):97-106

INTRODUCCION

La racionalización del uso del nitrógeno en la agricultura adquiere cada vez mayor importancia por razones económicas y ambientales. Económicas, por los costos elevados de la fertilización, y ambientales por el efecto contaminante de las aguas del N mineral lixiviado y del aire por el N desnitrificado (Stevenson, 1982). Ello se debería traducir en el mejoramiento de la calidad de las recomendaciones de fertilización nitrogenada realizadas por los servicios de análisis de suelo. Una de las dificultades actuales para alcanzar esta meta, es la imposibilidad de evaluar, objetiva y flexiblemente, la contribución de la mineralización de la materia orgánica al suministro de N del suelo para los cultivos, por no existir una metodología de rutina de análisis químico que mida adecuadamente esta entrega (Rodríguez, 1993).

La estimación de la mineralización de las formas orgánicas de nitrógeno es actualmente efectuada midiendo nitrógeno mineral presente en un momento determinado. Este método no indica la capacidad de los suelos de suministrar

y mantener en el tiempo una concentración de nitrógeno mineral para los cultivos. Es así cómo, en un intento por desarrollar métodos que evalúen el aporte de nitrógeno de las formas orgánicas, Stanford y Smith (1972) desarrollaron una metodología que permitiría determinar el nitrógeno potencialmente mineralizable (Npm) en los suelos y su tasa de mineralización. El Npm ha sido ampliamente discutido en la literatura nacional e internacional (Molina *et al.*, 1980; Stanford, 1982; Dean *et al.*, 1986; Sierra y Rodríguez, 1986; Rojas, 1992; Campbell *et al.*, 1996; Galvis *et al.*, 1998), y permitiría hacer estimaciones del suministro de nitrógeno de los suelos a nivel de investigación. Si bien, el método de determinación del Npm no es el más adecuado para un uso de rutina en los laboratorios de servicio de análisis de suelo, podría permitir la validación de modelos predictivos del suministro de N, utilizando el historial de ingreso de residuos y la descomposición de la biomasa microbiana. Este parámetro (Npm), podría correlacionar con otros índices químicos que podrían servir como vías más rápidas de estimación de la mineralización de nitrógeno en un suelo. Este trabajo tiene como objetivo general reevaluar el método de Stanford y

Smith (1972) en suelos de origen volcánico, para cuantificar el Npm de un suelo que ha sido afectado por diferentes prácticas históricas de manejo de los residuos en un mismo suelo, y correlacionar las estimaciones de Npm con otros parámetros químicos de rutina medidos en los análisis de suelo.

MATERIALES Y METODOS

Sitios, manejos y medición del Npm. Se seleccionaron cinco sitios de la serie de suelo Valdivia (*Typic Hapludand*) sometidos a historiales de manejo distintos: Renoval de bosque nativo (RNBQ), Bosque de ciprés (BQCP), Pradera permanente (PPER), Pradera de rotación corta (PROT) y Cultivos sucesivos (CULT), por un período mayor a 15 años. Las muestras fueron colectadas en otoño (abril de 1998) a dos profundidades: 0-10 y de 10-20 cm. De cada sitio se tomaron tres muestras compuestas desde zonas homogéneas. Las muestras se llevaron al laboratorio con humedad de terreno, y se mantuvieron a 4 °C, hasta el momento de procesarlas. El historial de manejo, de los sitios donde

se muestreó, se describe en la Tabla 1.

Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable (Npm). Se utilizó el método propuesto por Stanford y Smith (1972), con modificaciones. Las muestras se incubaron en tubos de lixiviación de 50 ml recubiertos en la parte inferior con lana de vidrio, cubierta con 1 mm de cuarzo, para retener el suelo. Se mezclaron 15 g de suelo húmedo con 20 g de cuarzo tamizado a 2 mm y se colocaron en los tubos de lixiviación. Paralelamente, se determinó la humedad de cada muestra para expresar los resultados sobre la base de suelo seco. El nitrógeno mineral inicialmente presente fue lavado con 100 ml de CaCl_2 0,01 M, seguido de la adición de 25 ml de solución nutritiva sin nitrógeno compuesta de las siguientes sales: $(\text{CaSO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,002 M; MgSO_4 0,002 M; $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,005 M y K_2SO_4 0,0025 M. Este mismo procedimiento se realizó después de cada lixiviación dentro del período de incubación. El exceso de agua fue removido mediante vacío, aproximadamente hasta capacidad de campo. Los tubos cubiertos con polietileno fueron incubados a $30^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ por 11 semanas. Se utilizó una secuencia de

Tabla1. Historial de manejo de los sitios que se muestrearon.
Management history of the sampled sites.

SITIO	Descripción del sitio	HISTORIAL DE MANEJO	
		Composición botánica	Manejo
Renoval de bosque nativo (RNBQ)	Sitio ubicado a orillas de quebrada, con crecimiento de especies de sotobosque y bosque caducifolio. Sin fertilización	Roble (<i>Nothofagus obliqua</i>), arrayán (<i>Luma apiculata</i>), quila (<i>Chusquea quila</i>)	Inalterado al menos desde hace 50 años y probablemente desde el desmonte original del lugar
Bosque de ciprés (BQCP)	Sitio plantado con bosque perennifolio de cupresáceas, en 1968. Sin fertilización.	Ciprés (<i>Cupressus macrocarpa</i>)	Inalterado desde la plantación (20 años)
Pradera permanente (PPER)	Sitio con pradera permanente establecida en 1976 y regenerada en 1982. Fertilización de mantención anual con promedios de 45 kg N - 73 kg P_2O_5 - 48 kg K_2O /ha/año.	Establecimiento de ballica inglesa (<i>Lolium perenne</i>), trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>), pasto ovillo (<i>Dactylis glomerata</i>). Regeneración: ballica inglesa (<i>Lolium perenne</i>), ballica italiana (<i>Lolium multiflorum</i>), trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>)	Pastoreo directo y cada 3 años aproximadamente rezago para ensilaje
Pradera de rotación corta (PROT)	Sitio iniciado con rotación en 1991 con lupino, 1992 pradera bianual, y en 1993 pradera permanente. Fertilización mantención: 54 kg N - 100 kg P_2O_5 - 54 kg K_2O /ha/año.	Rotación: lupino (<i>Lupinus angustifolius</i>), ballica italiana (<i>Lolium multiflorum</i>), trébol rosado (<i>Trifolium pratense</i>), ballica inglesa (<i>Lolium perenne</i>)	Pastoreo directo y 2 cortes en el año
Cultivo (CULT)	Sitio de rotación anual de trigo-raps comenzado en 1986-1998. Fertilización promedio: 2 t CaCO_3 /ha cada 4 años, 180 kg N; 290 kg P_2O_5 ; 85 kg K_2O /ha/año.	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>), Raps (<i>Brassica napus</i>)	Cosecha anual y quema de residuos de trigo y raps.

lixiviación a la 1, 3, 4, 6, 9 y 11 semanas. El N mineral extraído por 100 ml de CaCl_2 se determinó por destilación con arrastre de vapor de acuerdo al método de Bremner (Saavedra, 1975; Anderson e Ingram, 1993).

Funciones estudiadas para la estimación del Npm. Para estimar el Npm a partir de los valores de N mineral lixiviado acumulado, se utilizaron dos modelos de ajuste a través de regresión no lineal. Los procedimientos de ajuste utilizados se muestran en la Tabla 2. En el Método 1 se ajustan los datos, primero a una ecuación potencial de acuerdo a la tendencia presentada por los datos para el período de incubación de 11 semanas, y se extrapola el valor del N mineralizado a las 30 semanas. Posteriormente se ajustan estos valores a una función exponencial. El Método 2 ajustó los valores de N mineralizado acumulado durante las 11 semanas a la función exponencial. Con la función exponencial, en ambos métodos se obtuvo el Npm y la tasa constante de mineralización. En esta ecuación, el Npm es la asíntota y define el contenido total del nitrógeno potencialmente mineralizable presente en el suelo, y el valor de k es el coeficiente que representa la tasa constante de mineralización del N orgánico del suelo. El ajuste no lineal se realizó a través de los mínimos cuadrados, utilizando el programa estadístico GraphPad Prism, v.2, 1995, para análisis de datos científicos.

Tabla 2. Métodos de ajuste no lineal, utilizados para la estimación de Npm.

Non-linear fitting procedures employed to estimate Npm.

Método	Funciones utilizadas	Descripción del método
1	$N_{min} = at^b$ (1) $N_{min}_a = Npm * (1 - e^{-kt})$ (2)	Se ajustaron los datos a la función potencial (1) y extrapolando se calculó el valor de 30 semanas. Con esta estimación se ajustó el modelo exponencial (2), por procedimiento no lineal e iterativo para obtener los parámetros de la regresión.
2	$N_{min} = Npm * (1 - e^{-kt})$ (2)	Un segundo método consistió en ajustar los datos medidos directamente a la función exponencial, (2) obteniéndose la asíntota por medio de iteraciones.

Nmin: N mineral acumulado en el tiempo t.

N_{min}_a : N min ajustado de la ecuación (2).

Npm: N potencialmente mineralizable.

k: tasa constante de mineralización.

t: tiempo.

Medición del N mineral, N total, materia orgánica, pH. Se determinaron las características químicas de los sitios estudiados en muestras tamizadas a 2 mm y secadas al aire. El N mineral se determinó de acuerdo al método de Bremner, el N total de acuerdo al método Kjeldahl, la materia orgánica de acuerdo al método de Walkley y Black y el pH potenciométricamente, relación 1:2,5, en agua (Saavedra, 1975; Anderson e Ingram, 1993).

Determinación de la biomasa microbiana. La determinación de la biomasa microbiana se realizó por la técnica de fumigación-incubación con cloroformo (Anderson e Ingram, 1993). Desde cada sitio donde se muestreó, se tomó 2 submuestras de 10 g cada una, con dos repeticiones. Una de las submuestras se fumigó con cloroformo libre de alcohol, en una cámara desecadora ejerciendo vacío en su interior, hasta que todo el cloroformo se evaporó. Posteriormente, las muestras fumigadas se incubaron durante cinco días a 25 °C, seguido a lo cual se determinó el carbono soluble. El carbono de la biomasa microbiana se estimó utilizando un factor de 2,64 (Anderson e Ingram, 1993). Para establecer las correlaciones simples y múltiples entre los valores estimados de Npm con las mediciones de N total, materia orgánica, N mineral residual y biomasa microbiana, se utilizó el programa estadístico Kurv 4 + Conrad Button, Software 1997.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estimación del Npm para los distintos historiales de manejo del suelo. Al comparar los resultados estimados para el Npm entre los sitios con distintos historiales de manejo se observa, en general, un ordenamiento de acuerdo al comportamiento teórico esperado en función al historial de ingreso, tanto en calidad como cantidad de los residuos (Matus y Rodríguez, 1994; Rodríguez, *et al.*, 2000). Este ordenamiento predice que un mayor potencial de mineralización de N se debería presentar en el manejo de renoval de bosque nativo (mayor ingreso en cantidad y calidad de residuos), seguido de la pradera permanente, la pradera de rotación corta, el sistema de cultivos sucesivos y, finalmente, el bosque de ciprés. Los valores de Npm, obtenidos del promedio de las dos profundidades (0-20) evaluadas (Tabla 3) estimados por el Método 1 de ajuste fueron de 400; 123; 249; 225 y 178 mg kg^{-1} para los manejos RNBQ, BQCP, PPER, PROT y CULT, respectivamente. En tanto que los valores de Npm (promedio de 0-20 cm) para el Método 2 de ajuste fueron 416; 76; 196; 186 y 110 mg kg^{-1} para los RNBQ, BQCP, PPER, PROT y CULT, respectivamente.

Tabla 3. Valores estimados de Npm y de tasas de mineralización en un suelo sometido a cinco manejos distintos, de acuerdo a los dos procedimientos de ajuste.
Npm estimated values and mineralization constant rates from a soil under five different managements, according to the two adjustment procedures.

Manejo	Método 1			Método 2		
	Npm mg kg ⁻¹	k/ semana	r ²	Npm mg/kg	k/ semana	r ²
0-10 cm de profundidad						
Renoval bosque nativo	575	0,058	0,98	624	0,050	0,98
Bosque ciprés	179	0,074	0,83	104	0,143	0,90
Pradera permanente	370	0,083	0,87	270	0,114	0,92
Pradera rotación corta	300	0,054	0,94	242	0,065	0,95
Cultivo	223	0,078	0,89	134	0,141	0,94
10-20 cm de profundidad						
Renoval bosque nativo	225	0,073	0,93	208	0,075	0,94
Bosque ciprés	68	0,070	0,91	48	0,114	0,92
Pradera permanente	127	0,075	0,89	121	0,074	0,90
Pradera rotación corta	150	0,074	0,95	130	0,088	0,95
Cultivo	133	0,098	0,88	86	0,185	0,93
Promedio general		0,073			0,105	
Desviación estándar		0,012			0,042	

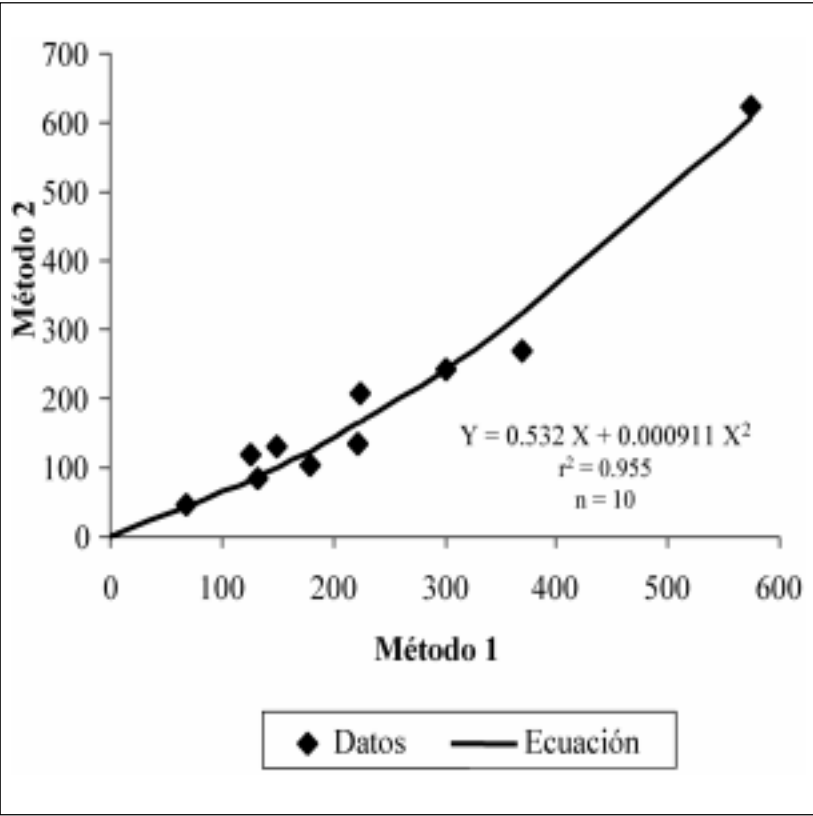


Figura 1. Relación entre los valores de Nitrógeno potencialmente mineralizable (Npm), estimados a través del Método 1 y Método 2 de ajuste no lineal utilizados.
Relationship between values of the potentially mineralized nitrogen (Npm) estimated through Method 1 and Method 2 of non lineal fitting employed.

La relación entre los valores de Nitrógeno potencialmente mineralizable producidos por los dos procedimientos de ajuste se muestra en la Figura 1. Se observa una correlación no lineal significativa entre los valores ($p < 0,05$), mostrando que los valores obtenidos por el Método 2 de ajuste son, en general, mayores que los obtenidos por el Método 1 de ajuste, incrementándose esta diferencia en la medida que los valores de Npm son más altos. Sin embargo, ambos sistemas de ajuste predicen la misma tendencia en la acumulación de nitrógeno, dependiendo del manejo histórico de los residuos a que ha sido sometido el suelo.

En la Figura 2, se observan las curvas ajustadas por el Método 2, del N mineralizado acumulado a través de las 11 semanas de incubación-lixiviación y su extrapolación hasta las 30 semanas, para muestras de las profundidades de 0-10 cm y de 10-

20 cm. En estas se puede observar el ordenamiento general seguido por las líneas de ajuste, de acuerdo al historial de manejo de cada uno de los sitios estudiados. En ambas profundidades el ordenamiento del valor del Npm fue similar para las muestras analizadas,

aunque existen diferencias importantes en las cantidades estimadas de Npm para un mismo manejo. Ello es atribuible a la mayor cantidad de raíces presentes en la estrata de 0-10 cm, y al mayor ingreso de residuos en la estrata más superficial en los manejos en que el suelo no es invertido a través de aradura.

Ello es ratificado en la relación entre las profundidades de un mismo sitio para los manejos de cultivos, en que el efecto del laboreo del suelo tiende a redistribuir más homogéneamente los residuos orgánicos. Al comparar los ajustes del N mineral acumulado en el tiempo, del manejo de pradera permanente y del cultivo en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm, se

observa una variación mucho menor de las cantidades de N mineralizado entre profundidades estudiadas en el cultivo, en contraste con la pradera permanente. Como ha sido observado por Rodríguez y Silva (1984a), en las praderas naturales de los Andisoles del sur, en el estrato superficial del suelo (0-10 cm), se desarrolla un profuso sistema radicular, que junto a residuos vegetales de la parte aérea, aportan un mayor contenido de Npm presente en esta estrata en comparación con el ingreso de residuos a mayor profundidad. Asimismo, Sierra y Rodríguez (1986) indican que los cultivos de labranza, cereales y remolacha, suministran menores cantidades y/o calidades de residuos al suelo que las praderas permanentes indicando que, por ejemplo, los residuos de trigo aportarían aproximadamente un 50% del N entregado por los residuos de los pastos. En el caso de este trabajo, se encontró que el Npm estimado para el cultivo alcanzaba entre un 60% y 53% del Npm calculado para la pradera permanente, por los dos procedimientos de ajuste en la primera profundidad. Sin embargo, en la segunda profundidad la relación entre pradera permanente y cultivo tiende a igualarse.

Al comparar los valores estimados de Npm para el renoval de bosque nativo con los estimados para el bosque de ciprés se encontraron amplias diferencias (Tabla 3). El renoval de

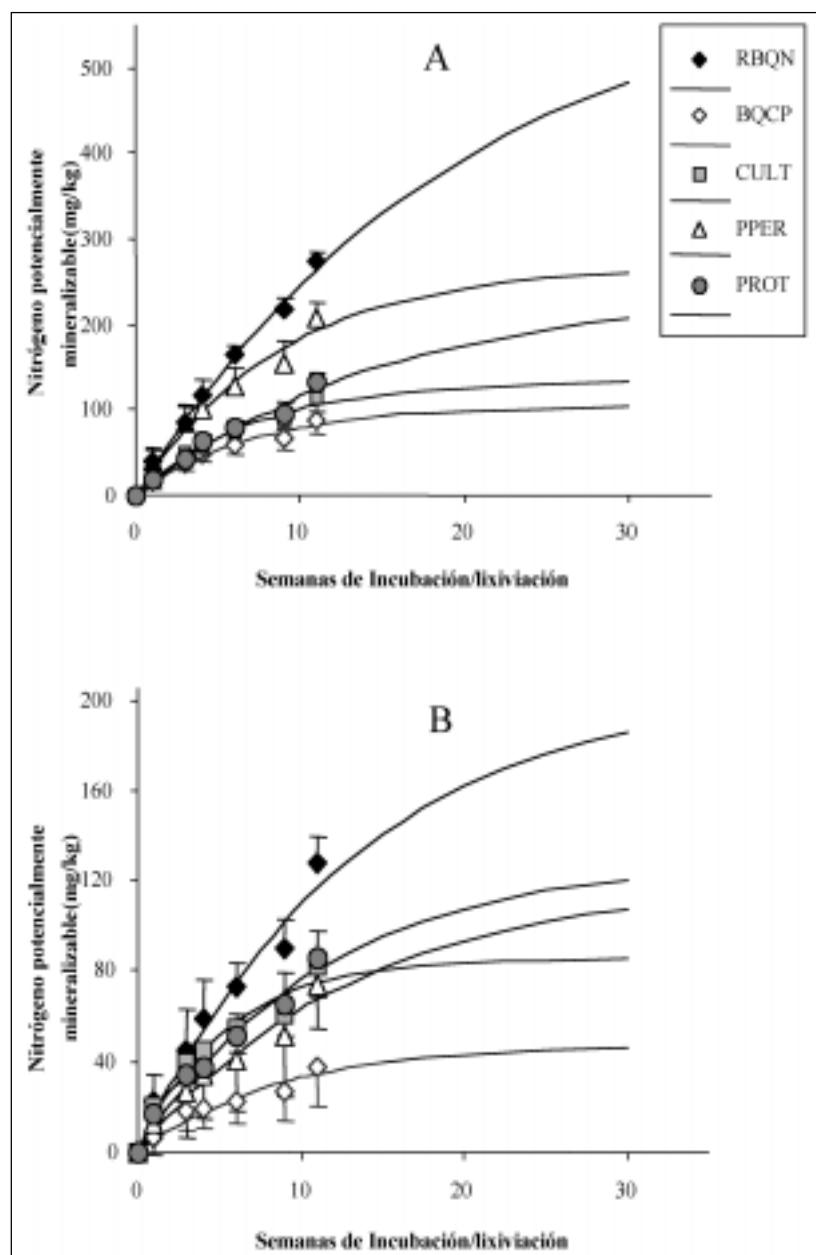


Figura 2. Curvas ajustadas y valores de N mineralizado acumulado, en los cinco manejos evaluados. A. Muestras de 0-10 cm de profundidad; B. Muestras de 10-20 cm de profundidad. *Fitted curves and cumulative N mineralized in the five managements evaluated. A. Sampling at 0-10 cm deep B. Sampling at 10-20 cm deep.*

bosque nativo presentó los valores más altos de Npm, incluso superiores a los observados para pradera permanente. Ello sería atribuible al mayor aporte de residuos que se produciría en este tipo de bosque, dado por su variada composición florística (Tabla 1), tanto en la

presencia de diferentes tipos de árboles, como la presencia de material arbustivo y herbáceo en el sotobosque. Para el bosque de ciprés se estimaron los menores valores de Npm, incluso que los observados para el manejo de rotación de cultivos. Esto podría deberse a la cantidad y tipos de residuos ingresados. Se observó en terreno una baja incorporación de residuos en el suelo, generándose un mantillo de material no descompuesto. Las características de los residuos (acículas y ramillas) permite suponer que su ingreso en el sistema es bajo y de difícil descomposición.

Aunque los valores de Npm estimados tienden a concordar con los ordenamientos teóricos, no se podría sostener que constituyan un parámetro cuantitativo preciso. Primero, porque la variación de los valores de Npm estimados depende del ajuste a que se sometan los datos y segundo, porque la metodología utilizada permite estimar el potencial de mineralización de un suelo en forma aproximada, y no necesariamente los niveles que podría alcanzar el sistema suelo bajo determinadas condiciones de temperatura, humedad y pH, entre otras. Desde esta perspectiva, el método de Standford y Smith (1972) estaría dando cuenta más bien de las diferencias cualitativas entre distintos manejos históricos a los que se ha sometido un suelo. Por lo tanto, se podría sostener que valores de Npm diferentes en una misma unidad edafoclimática, indicarían que el factor manejo anterior (aporte de residuos) y la incorporación reciente de residuos frescos, son decisivos en el contenido de N potencialmente mineralizable, aunque no necesariamente den un ordenamiento cuantitativo exacto.

Estimación de las tasas de mineralización. Los valores obtenidos para las constantes de mineralización para los 5 manejos evaluados presentaron un promedio de 0,073, para el ajuste con el Método 1, y un promedio de 0,105 para el ajuste con el Método 2 (Tabla 3). Los valores encontrados fueron más altos que los promedios de 0,054/semana señalados por Stanford y Smith (1972) y de 0,058/

semana señalados por Oyanedel y Rodríguez (1977), usando un ajuste linearizado, y similar al promedio de 0,095/semana estimados por Molina *et al.*, (1980), Juma *et al.*, (1984), y Rodríguez y Sierra (1987) con ajustes no lineales. De acuerdo con la variabilidad de estos resultados, se ha planteado que rangos amplios de constantes de mineralización indicarían la distinta labilidad de los residuos frescos presentes en el suelo (Juma *et al.*, 1984; Rodríguez y Sierra, 1987), y que rangos estrechos de valores de k, como los estimados por Stanford y Smith (1972), indicarían que las formas de N orgánico que contribuyen al Npm son similares, y correspondientes a fracciones más estabilizadas desde la materia orgánica del suelo. Sin embargo, de acuerdo a estos resultados, los valores de k calculados por estos autores parecieran estar dando cuenta de los distintos procedimientos de ajuste matemático utilizados, no pudiéndose concluir respecto al significado de k con relación a la labilidad de los residuos que se mineralizan.

Correlación del Npm con otros parámetros químicos del suelo. En la Tabla 4 se presenta la caracterización química del suelo estudiado para cada sitio de manejo distinto, cuyas estimaciones se usaron para la realización del análisis de correlación con el Npm. En este cuadro, se observa que los valores de materia orgánica del suelo estudiado variaron entre 12,8 y 18,6% y los valores de N total entre 0,46 y 0,74 %. Estos valores están en el rango de los valores determinados por Rodríguez (1993) para Andisoles del sur de Chile. Las relaciones C/N también están dentro de los rangos encontrados para este tipo de suelos, cuyos contenidos de C y N total son comparativamente más altos con relación a Andisoles de la zona central de Chile, y se explicarían por causas ecológicas y por el tipo de arcilla dominante (Rodríguez, 1993; Matus, 1994).

El contenido de C y N total de los sitios estudiados varía con el manejo del suelo. Como lo señala Sierra (1985), los menores contenidos de N y C orgánico se explican

Tabla 4. Contenidos de materia orgánica, N total, relaciones C/N, N mineral, pH y biomasa microbiana del suelo estudiado (0 - 20 cm de profundidad).

Manejo	M O g 100 g ⁻¹	N total g 100 g ⁻¹	C/N	N mineral mg kg ⁻¹	pH CaCl ₂	pH H ₂ O	Biomasa microbiana kg C ha ⁻¹
Renoval bosque nativo	18,6	0,74	14,3	34,2	4,6	5,4	2641
Bosque ciprés	13, 2	0,50	15,8	17,6	4,7	5,8	170
Pradera permanente	17,7	0,72	14,1	53,0	4,5	5,5	1742
Pradera rotación corta	14,2	0,50	16,4	42,3	4,5	5,0	1248
Cultivo	12,8	0,46	16,0	35,6	4,8	5,4	900

Tabla 5. Correlaciones entre el Npm estimado por los Métodos 1 y 2 de ajuste, y el N total, la materia orgánica, el N mineral inicial y la biomasa microbiana.

Correlation between estimated Npm, through two fitting procedures and total N, organic matter, and initial mineral N and soil microbial biomass.

Parámetro	Npm Método 1			Npm Método 2		
	r	Intervalo confianza 95%		r	Intervalo confianza 95%	
N total	0,69 *	0,115	a 0,921	0,73 *	0,200	a 0,933
Materia orgánica	0,86 *	0,504	a 0,966	0,89 *	0,599	a 0,974
N mineral inicial	0,43	-0,271	a 0,834	0,37	-0,330	a 0,814
Biomasa microbiana	0,85 *	0,489	a 0,965	0,83 *	0,435	a 0,960

* relaciones significativas ($p < 0,05$).

tanto por el menor nivel de aporte de residuos, a través de un manejo histórico, y la probable erosión producida como consecuencia del laboreo del suelo. Ello tiende a un menor nivel de acumulación, de acuerdo a la cantidad de residuos incorporados y al proceso de erosión en los suelos con mayor cultivo. Finalmente, los valores de pH que caracterizan los sitios estudiados varían entre 4,5 y 4,8 (pH CaCl₂) y entre 5,0 y 5,8 (pH H₂O), registrando el valor más bajo el sitio de pradera de rotación corta y los más altos el renoval de bosque nativo y el cultivo.

Correlaciones entre Npm versus N total, materia orgánica o N mineral inicial. Se encontraron correlaciones significativas para el contenido de N total con el Npm estimado (Tabla 5), aunque los valores son relativamente bajos para ambos métodos de ajuste utilizados. En ambos casos, los intervalos de confianza obtenidos fueron muy amplios, lo cual indicaría que no existe una relación estrecha entre los contenidos de N total de un suelo y el N potencialmente mineralizable. Sin embargo, como sostiene Sierra (1985), el N total podría ser un índice del N estabilizado, el cual determina parcialmente la mineralización del N del suelo, pero no detectaría en forma adecuada la fracción más lábil, la cual es más dependiente de la incorporación de residuos frescos, de acuerdo al manejo al cual está sometido el suelo (Jansson, 1958). Se obtuvo una correlación mayor entre el Npm estimado por ambos métodos con el contenido de materia orgánica del suelo, obteniéndose intervalos de confianza más estrechos. Sin embargo, como lo sugieren Rodríguez y Silva (1984b), la relación existente entre la materia orgánica y el Npm, al igual que en el caso del N total, también estaría dada por el componente de N estabilizado del Npm.

Al analizar los contenidos de N mineral previos a la incubación (Tabla 4), no se observó un ordenamiento en las cantidades de nitrógeno de acuerdo a los manejos, como en el caso del Npm, obteniéndose una corre-

lación no significativa (Tabla 5). Esto es debido a que el N mineral inicial medido sólo representa el N disponible en un momento determinado, y no refleja el suministro de nitrógeno de un suelo acumulado en el tiempo (Rodríguez, 1993). Al correlacionar la biomasa microbiana con el Npm se obtuvieron valores del coeficiente de correlación significativos para ambos métodos de ajuste utilizados (Tabla 5) y con intervalos de confianza ligeramente menos estrechos que los obtenidos para el contenido de materia orgánica del suelo.

A partir de estos resultados, se podría sostener que algún grado de correlación existiría entre el tamaño de la biomasa microbiana y el potencial de nitrógeno mineralizable de un suelo. Como ha sido indicado por Sierra (1985), el tamaño de la biomasa microbiana podría estar dado por el nivel de ingreso de residuos de material fresco y por la calidad de los mismos. Esto permite suponer que considerar solamente los residuos frescos no sería suficiente para estimar completamente el Npm. De esta forma, estos resultados permiten calificar cualitativamente los sitios, y se requeriría una mayor comprensión del fenómeno para una estimación cuantitativa.

Correlación múltiple entre Npm, materia orgánica y biomasa microbiana. Tomado en consideración las mejores correlaciones para un parámetro del N estabilizado y del N lábil del suelo (contenidos de materia orgánica y biomasa microbiana, respectivamente) con el Npm, se procedió a hacer una correlación múltiple entre el Npm y la materia orgánica de los suelos y su contenido de biomasa microbiana. Los resultados de la correlación múltiple usando el Npm estimado por el Método 1 de ajuste fue de $r^2 = 0,864$, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$y = -219,28 + 0,0619 B + 24,27 M$$

y un valor de $r^2 = 0,847$, usando el Npm estimado por el Método 2 de ajuste con la ecuación:

$$y = -263,37 + 0,0860 B + 22,54 M$$

donde, B es C biomasa microbiana ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) y M es la materia orgánica del suelo ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Ambos resultados son superiores a los coeficientes de correlación obtenidos del análisis de correlación simple, con un coeficiente mayor en el caso de Npm ajustado con el Método 1 de ajuste, respecto del coeficiente obtenido con el Método 2 de ajuste. Estos resultados permiten suponer que, tanto la materia orgánica como la biomasa microbiana en su conjunto, podrían constituir un indicador aproximado de la variación del Npm en suelos con distintos historiales de ingreso de residuos, suponiendo que la materia orgánica estaría dando cuenta de la mineralización del N estabilizado, y que la biomasa microbiana del N lábil. De esta forma, la estimación conjunta, en alguna medida, estaría reflejando el potencial de mineralización de nitrógeno de un suelo. Debe, sin embargo, destacarse que estas correlaciones múltiples podrían ser válidas para un tipo de suelo con similares características, ya que, como lo ha señalado Hassink (1997), el contenido de materia orgánica total podría ser debido a características intrínsecas del suelo.

CONCLUSIONES

El historial de manejo pasado y reciente de un suelo es, tal como se ha señalado en la literatura, un factor determinante en la estimación de los potenciales de mineralización de nitrógeno del suelo. Sin embargo, al utilizar la metodología de Stanford y Smith, las ecuaciones que describen la cinética de ajuste utilizada, si bien dan cuenta de las diferencias teóricas esperables en la estimación del Npm entre manejos distintos, no permiten ser concluyente en términos cuantitativos respecto al valor del Npm estimado. Las constantes de mineralización (k) obtenidas del ajuste, parecen responder más al ajuste del modelo matemático empleado, que interpretar el proceso biológico real. Los contenidos de N total correlacionaron débilmente con el Npm estimado, lo que indicaría que no es un buen indicador de la mineralización de N del suelo. El N mineral inicial, medido a través de la extracción residual, no correlaciona con los montos de Npm estimados. La materia orgánica correlaciona con el Npm, y por lo tanto, parecería indicar que existe una relación en la variación de las cantidades de ambos parámetros. Del mismo modo, también existiría una relación entre el tamaño de la biomasa y el tamaño del Npm estimado de un suelo con un historial de manejo determi-

nado. Considerando la materia orgánica y la biomasa microbiana, se encontró una significativa correlación múltiple con el Npm. Este resultado parecería indicar que ambos parámetros, en su conjunto, podrían constituir un estimador del Npm, pero los resultados obtenidos no permiten ser completamente concluyente al respecto.

RESUMEN

El objetivo de este estudio, fue evaluar la metodología de Stanford y Smith para determinar el efecto del manejo histórico de residuos en el contenido de nitrógeno potencialmente mineralizable (Npm) de un Hapludand, y correlacionar este contenido con otros parámetros de suelo. El Npm y la tasa constante de mineralización (k) fue determinada para cinco sitios con diferentes intensidades de manejo agrícola y forestal. Los sitios forestales fueron un renoval de bosque nativo y un bosque de ciprés, y los sitios agrícolas fueron pradera permanente, pradera de rotación corta y rotación de cultivos. Los sitios se muestrearon a 0-10 y 10-20 cm de profundidad. Los valores de Npm y la tasa constante de mineralización fue determinada usando el método de Stanford y Smith con modificaciones menores. Los valores de N mineralizado acumulados fueron ajustados a un modelo exponencial, empleando dos métodos de ajuste no lineal. Los valores de Npm estimados y la tasa constante de mineralización permitieron establecer diferencias entre los sitios debidas al manejo histórico de residuos. El Npm no correlacionó estadísticamente con el N mineral inicial. Se encontró una baja correlación entre el Npm y el N total, sin embargo, se obtuvieron correlaciones lineales altamente significativas entre el Npm y la materia orgánica del suelo y entre el Npm y la biomasa microbiana del suelo. Una correlación múltiple entre Npm, biomasa microbiana y materia orgánica del suelo muestra que estos dos últimos parámetros podrían ser usados para estimar el potencial de mineralización de estos sitios, pertenecientes al mismo tipo de suelo.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J. and J. Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of Methods. 2nd Edition. C.A.B. International. Inglaterra. 221 pp.
- Campbell, C.A., A.P. Moulin, D. Curtin and L. Townley-Smith. 1996. Adapting the potentially mineralizable N concept for the prediction of fertilizer requirement. In: Ahmed, N. (Ed.) Nitrogen economy in tropical soils. Kluwer Academic Publishers. Holanda. pp 61-76.

- Dean, J., J. Molina and C. Clapp. 1986. Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants. *Soil Science Society of America Journal* 50: 323-326.
- Galvis, A., S.E. Alvarez and J.D. Etchevers. 1998. A method to quantify N fertilizer requirement. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 155-162.
- Hassink, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191: 77-87.
- Jansson, S. 1958. Tracer studies in N transformations in soils. *Annual of the Royal Agricultural College, Sweden* 24:100-361.
- Juma, N., E. Paul and B. Mary. 1984. Kinetic analysis of net nitrogen mineralization in soil. *Soil Science Society of America Journal* 48: 76-80.
- Matus, F.J. and J. Rodríguez. 1994. A simple model for estimating the contribution of nitrogen mineralization to the nitrogen supply of crops from a stabilized pool of soil organic matter and recent organic input. *Plant and Soil* 162: 259-271.
- Matus, F.J. 1994. Crop residue decomposition, residual soil organic matter and nitrogen mineralization in arable soils with contrasting textures. Ph D Thesis. Wageningen Agricultural University, Netherlands. 141pp.
- Molina, J., C. Clapp and W. Larson 1980. Potentially mineralizable nitrogen in soil: the simple exponential model does not apply for the first 12 week of incubation. *Soil Science Society of America Journal* 44: 442-443.
- Oyanedel, C. y J. Rodríguez. 1977. Estimación de la mineralización de N en el suelo. *Ciencia e Investigación Agraria*. 4: 33-44.
- Rodríguez, J. y H. Silva. 1984a. Estimación de la mineralización de nitrógeno y requerimiento de nitrógeno de los cultivos en suelos con distinto manejo. *Ciencia e Investigación Agraria*. 11: 73-80.
- Rodríguez, J. y H. Silva. 1984b. Nitrógeno potencialmente mineralizable en Andisoles. *Ciencia e Investigación Agraria*. 11: 81-88.
- Rodríguez, J. y C. Sierra. 1987. Efecto del historial de cultivo en el "pool" de N lábil y resistente del suelo. *Ciencia e Investigación Agraria*. 14:63-70.
- Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 149 pp.
- Rodríguez, J., D. Pinochet. y F.J. Matus. 2000. Fertilización de los cultivos. Editorial LOM. Santiago, Valdivia, Talca. Chile (en prensa).
- Rojas, C. 1992. Estimación del N disponible y N orgánico en suelos chilenos. *Agricultura Técnica (Chile)* 52: 398-402.
- Saavedra, N. 1975. Manual de análisis de suelos. Bole-tín N° 16. Facultad de Agronomía Pontificia Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Sierra, C. 1985. Efecto del manejo del suelo en la mineralización de N. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias, mención Fertilidad de Suelos. Santiago. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. 60 pp.
- Sierra, C. y J. Rodríguez. 1986. Efecto del historial de manejo en la mineralización de nitrógeno. *Ciencia e Investigación Agraria*. 13: 229-228.
- Standford, G. and S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 36: 465-472.
- Standford, G. 1982. Assessment of Soil Nitrogen Availability. In: *Nitrogen in agricultural soils. Agronomy Monograph* N° 22:651-682. ASA-CSSA-SSSA-USA.
- Stevenson, F. 1982. Nitrogen in Agricultural soils. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America and Soil Science Society of America Publisher. Madison, Wisconsin, USA. 940 pp.

