

UN MODELO PARA ESTIMAR LA MINERALIZACION DE NITROGENO EN SUELOS DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (ARGENTINA)

H ECHEVERRÍA, R BERGONZI, J FERRARI

Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce. C.C. 276 (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina

A MODEL TO ESTIMATE NITROGEN MINERALIZATION FROM SOUTHEASTERN BUENOS AIRES PROVINCE SOILS (ARGENTINA)

The objectives of this research were to obtain rate parameters of N mineralization from different soils at different depths, and to propose a model to estimate the supply of N from soil organic matter mineralization. We determined potentially mineralizable N (N_0) and mineralization rate (k). Estimations of N_0 and k were performed by fitting a one-pool non linear model from the N accumulated during aerobic incubations of disturbed soil samples at a constant temperature of 35°C and field capacity (-0.01 MPa). Temperature effect was accounted for by a modified Arrhenius equation assuming $Q_{10} = 2$. Moisture effect was estimated from the relationships between the relative mineralization of N and relative water content. Both parameters (N_0 and k) were integrated in a model that also considers the effect of temperature and water independently. The estimation of k without considering the first days of incubation seems to be more adequate to estimate N mineralized under field conditions. Values of k from surface horizons did not vary among soils. Subsurface k values seem to be overestimated. As a first approach, a unique value of k (0.0070 day^{-1}) is suggested for the studied soils. To estimate mineralized N the model requires: depth, bulk density, N_0 , k, upper and lower critical levels of soil water content and weekly soil temperature and water content averages. The estimation of N mineralized from the A horizon (0.2 m) of a soil from Balcarce was 63 kg ha^{-1} . This estimation method is just a first approach to the knowledge of the amount of N that could be released by mineralization from Southeastern Buenos Aires Province soils.

Key words: Soils-Nitrogen-Mineralization-Temperature-Water content.

INTRODUCCION

El contenido de nitrógeno N mineral en el perfil del suelo al momento de la siembra es una fuente importante para los cultivos y ha sido utilizado para efectuar recomendaciones de fertilización (Carter *et al.* 1976, Ris *et al.*, 1981). Para algunas situaciones del sudeste de la Provincia de Buenos Aires, el contenido de nitratos parecería adecuado para diagnosticar los requerimientos de N en el cultivo de trigo (Gonzalez Montaner *et al.* 1991). No obstante, considerando los contenidos variables de materia orgánica (MO) del área en estudio (Echeverría, Ferrari 1993), la cantidad del N mineralizado desde la fracción orgánica del suelo durante el desarrollo de los cultivos sería importante y su estimación permitiría mejorar dicho diagnóstico.

A los efectos de estimar la mineralización de N, dos tipos de métodos han sido utilizados: químicos y biológicos (incubaciones de corta y larga duración). Debido a la rapidez, precisión y economía, una gran cantidad de métodos químicos han sido probados (Keeney 1982, Stanford 1982), aunque con escaso éxito (Goh, Haynes

1986). Entre los métodos biológicos, las incubaciones de larga duración parecerían reflejar más acabadamente la capacidad de suministro de N de un suelo dado, ya que el N mineralizado en los primeros días de incubación estaría influenciado por los residuos de cultivos y por el manejo de la muestra (Stanford *et al.* 1974). Las incubaciones de muestras de suelos por largos períodos en óptimas condiciones de temperatura y humedad, permitirían determinar la fracción del N orgánico susceptible de ser mineralizado (N_0) y la constante de mineralización (k) (Stanford, Smith 1972, Stanford 1977).

Variaciones en las condiciones de temperatura y humedad afectan la tasa de mineralización de N. Por lo tanto, para estimar la mineralización a campo se requiere corregir la k por las condiciones hídricas y térmicas que realmente se produjeron en el terreno. El empleo de esta metodología ha sido utilizada con razonable éxito en remolacha azucarera (Stanford 1977) y en trigo (Oyanedel, Rodriguez 1976).

Para algunos horizontes superficiales de suelos de la localidad de Balcarce se han determinado valores de N_0

y k (Rizzalli *et al.* 1984, Gratone, Valencia 1985) y se ha evaluado el efecto de la temperatura (Echeverría, Navarro 1978) y la disponibilidad hídrica (Navarro *et al.* 1991), sobre la mineralización de N. El objetivo de este trabajo fue determinar los valores de N_0 y k de horizontes superficiales y subsuperficiales de suelos del sudeste bonaerense, como así también elaborar un modelo de predicción de la mineralización de N, en base a la integración de características edáficas y las condiciones hídricas y térmicas.

MATERIALES Y METODOS

En la Tabla 1 se presentan algunas de las características de los suelos estudiados. Los resultados corresponden al promedio de al menos tres muestras compuestas, siendo cada una de ellas integrada por más de veinte submuestras. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas (2 mm).

Determinación de N_0 y k

Se efectuaron incubaciones aeróbicas de 224 días en condiciones óptimas de temperatura y humedad según el método descripto por Stanford, Hanway (1955). Las mismas se efectuaron en estufa de cultivo a 35 °C en un ambiente saturado de humedad. Al comienzo de la incubación y a los 7, 14, 28, 56, 94, 122, 150, 178, 196 y 224 días las muestras fueron percoladas con 100 ml de $CaCl_2$ (0,01 M). En el percolado se analizó la concentración de amonio y nitrato por microdestilación por arrastre de vapor (Bremner, Keeney 1965). Para el cálculo de N_0 y k se ajustó el N mineral acumulado en el tiempo a un modelo no lineal de un compartimiento (Método 1 y Método 2). Para este último, N_0 y k se calcularon, como lo sugieren Stanford, Smith (1972), sin considerar el N mineralizado en los primeros 14 días de incubación, los que son adicionados al valor final de N_0 . En ambos casos se empleó el algoritmo de Marquardt en la opción NLIN del programa SAS (SAS Institute, Inc., 1985)

El modelo de un compartimiento es:

$$N_m = N_0 (1 - e^{-kt})$$

donde

$$\begin{aligned} N_m &= N \text{ mineralizado al tiempo } t \text{ (mg N kg}^{-1} \text{ suelo)} \\ N_0 &= N \text{ potencialmente mineralizable (mg N kg}^{-1} \text{ suelo)} \\ k &= \text{constante de mineralización (días}^{-1}\text{)} \\ t &= \text{tiempo (días)} \end{aligned}$$

Corrección por temperatura

Empleando una modificación a la ecuación de Arrhenius es posible estimar los cambios de k en función de la temperatura (Stanford *et al.* 1973):

$$\log k_i = \log A - B/T$$

donde

$$\begin{aligned} k_i &= \text{constante de mineralización corregida por temperatura} \\ \log A &= \text{constante} \\ B &= \text{pendiente} \\ T &= \text{temperatura absoluta (}^{\circ}\text{K)} \end{aligned}$$

Para el proceso de nitrificación se citan valores de Q_{10} que fluctúan entre 1,7 y 2,7 (Campbell 1983), no obstante, a los fines de orden práctico es factible asumir un valor promedio de 2 (Stanford *et al.* 1973), el que coincide con el determinado para

Argüedoles típicos de Balcarce (Echeverría, Navarro 1978). Para dicho valor de Q_{10} la pendiente (B) es de 2580 y la ordenada al origen (A) varía para diferentes valores de k y se ajusta a la siguiente ecuación:

$$\log A = 8,38 + \log k \quad r=0,999$$

Por consiguiente los valores de la constante de mineralización a distintas temperaturas (k_i) será:

$$k_i = 10^{(8,38 + \log k) - (2580/0k)}$$

La fluctuación de la temperatura a lo largo del día responde a una función de tipo sinusoidal (Campbell *et al.* 1984), a los efectos de este trabajo se utilizará el promedio semanal de la temperatura media del suelo a una profundidad de 10 cm.

Corrección por humedad

La mineralización de N está relacionada con la disponibilidad hídrica en el rango de agua útil (Myers *et al.* 1982). Para los suelos del área en estudio se determinó que la mineralización relativa de N (Y), es función del contenido relativo de humedad (X) (Navarro *et al.* 1991):

$$Y = 4,7 + 0,93 X \quad r^2 = 0,88$$

En donde el contenido relativo de humedad (X) es:

$$X = (W - W_0)/(W_{max} - W_0)$$

donde

$$\begin{aligned} W &= \text{humedad promedio del período a evaluar (g g}^{-1}\text{)} \\ W_0 &= \text{humedad a -4 MPa (g g}^{-1}\text{)} \\ W_{max} &= \text{humedad a -0,01 MPa (g g}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

De esta forma la óptima humedad para mineralización sería aquella cercana a capacidad de campo (-0,01 MPa), mientras que contenidos hídricos equivalentes a -4 MPa detendrían la mineralización.

El contenido relativo de humedad (X) se estimó a partir del modelo VARAL (Suero *et al.* 1988). Dicho programa simula la variación de almacenaje del agua del suelo en el perfil a lo largo del ciclo, a partir de información climática (precipitación y evapotranspiración potencial) y de características de suelo (humedad inicial, límite máximo y mínimo de agua extraída) y de cultivo (coeficiente de cultivo).

Estimación de la mineralización de N

La producción de N en un período de tiempo dado (N_{min}) es estimado a partir de los potenciales de mineralización (N_0) y la constante de mineralización integrando los efectos de temperatura (k_i) y de humedad (Y):

$$N_{min} = N_0 k_i Y$$

Para facilitar los cálculos se confeccionó un programa en lenguaje Basic (NMIN).

RESULTADOS Y DISCUSION

Determinación de N_0 y k

El Método de cálculo 1 presentó valores de N_0 inferiores ($P > 0,05$) a los obtenidos con el Método 2. Por el contrario, los valores de k fueron casi el doble en el Método 1 (Tabla 2). Similares resultados fueron obtenidos por Deans *et al.* (1986) al comparar estos dos métodos de cálculo. Esto es debido a que el N mineralizado en los primeros 14 días de incubación (extramineralización) es en promedio el 25% del total y al ser removido, en el Método 2, disminuye la curvatura

Tabla 1: Características de los suelos estudiados.

Suelo	Partido	Prof. (cm)	Clase textural	Fracción mineral (%)			pH	C org (%)	N tot (%)
				Arcilla	Limo	Arena			
1 GT	Balcarce	0-20	Fr	37,6	36,6	25,8	6,1	3,18	0,23
		20-40	Fr As	35,2	30,5	34,3	6,5	1,89	0,14
1 MM	Balcarce	0-20	Fr	37,6	36,6	25,8	6,1	3,18	0,23
		20-40	Fr As	35,2	30,5	34,3	6,5	1,89	0,14
1 MT	Balcarce	0-20	Fr	37,6	36,6	25,8	6,1	3,18	0,23
1 Pp	Balcarce	0-20	Fr	37,6	30,1	33,2	6,1	3,46	0,26
		20-40	Fr As	28,5	30,9	40,6	6,6	1,9	50,14
2	T. Arroyos	0-20	Fr	43,5	33,8	22,7	6,5	1,95	0,15
		20-40	Fr As	45,0	20,8	27,0	7,0	1,07	0,09
3	Dorrego	0-20	Fr As Ar	45,4	28,3	26,3	6,1	1,4	30,12
		20-40	Fr As	42,9	27,2	29,9	6,6	0,80	0,07
4	Azul	0-20	Fr	31,4	40,5	28,1	6,1	3,41	0,26
		20-40	Fr As	35,8	35,2	29,0	6,5	1,66	0,13
5	Necochea	0-20	ND	ND	ND	ND	5,6	2,02	0,18
		60-20	ND	ND	ND	ND	5,7	3,17	0,29

GT : rotación girasol- trigo - trigo; MM : rotación maíz- maíz - trigo; MT : maíz - trigo - trigo; Pp : pastura , 4 años

de la relación N mineralizado-tiempo y por consiguiente los valores de k. Considerando que el N de extramineralización es consecuencia del secado, tamizado y acondicionamiento de la muestra de suelo (Navarro *et al.* 1980), parecería más adecuado utilizar los valores de k obtenidos por el Método 2 a los fines de realizar inferencias de N mineralizado en condiciones de campo.

Los valores de N_0 (Método 2) registrados para los horizontes superficiales de los suelos de Balcarce son inferiores o similares a los reportados con anterioridad (Rizzalli *et al.* 1984, Echeverría 1988) y superan, como era de esperar, a los obtenidos en profundidad. El porcentaje de N_0 del N total fluctuó entre 7,0 y 9,8 %, correspondiendo los valores más elevados al suelo proveniente de Coronel Dorrego el que se caracteriza por poseer menores contenidos de M O. Los bajos porcentajes de N_0/N total, coinciden con los obtenidos por Prado y Rodríguez (1978), e indicarían que la mayor parte de la M O estaría en la fase pasiva y no contribuiría a la nutrición nitrogenada de los vegetales.

La constante k (Método 2) de los horizontes superficiales son similares a las reportadas por Rizzalli *et al.* (1984) y Echeverría (1988). Los valores de las k más elevados obtenidos en esta experiencia corresponden a

horizontes subsuperficiales y sugerirían una composición diferente dentro de la fracción susceptible a ser mineralizada en los distintos horizontes. Esta diferencia en los valores de k para los suelos de Balcarce se traduciría en períodos de vida media promedio del N_0 de 95 y 54 días en superficie y profundidad respectivamente, lo que es poco probable considerando que la degradabilidad de la MO en profundidad es menor. Otros autores han reportado valores de k significativamente diferentes para distintos horizontes (Cassman, Munns 1980, Hadas *et al.* 1986), sin sugerir las causas de dichos resultados. Otra posible explicación a las diferencias halladas en los valores de las k entre horizontes, surgiría de considerar que las condiciones de incubación de las muestras alterarían la velocidad de degradación del N_0 . Esta hipótesis supone que a mayor profundidad (condiciones de menor oxidación), mayores son las diferencias de N mineralizado entre las condiciones de campo y las de incubación en laboratorio (una parte de suelo con tres partes de arena), lo que se traduciría en mayores tasas de degradación de la fracción mineralizable en el laboratorio. Si bien Craswell y Waring (1972) afirman que la ruptura de los agregados del suelo provoca un incremento en la cantidad de N orgánico mineralizado, nuestros resultados sugerirían que en incubaciones de larga duración se provoca un cambio en las tasas de mineralización del N

Tabla 2: Nitrógeno potencialmente mineralizable (No) y constante de mineralización (k) para el periodo total de incubación (Método 1) y descartando los primeros 14 días de incubación (Método 2), de suelos del sudeste bonaerense.

Suelo	Prof cm	Método1		Método2		
		No mg kg ⁻¹	k día ⁻¹	No mg kg ⁻¹	Extramin	k día ⁻¹
1 (GT)	0-20	150	0,015	178	43	0,008
1 (GT)	20-40	99	0,019	108	30	0,012
1 (MM)	0-20	159	0,014	194	42	0,007
1 (MM)	20-40	103	0,021	110	32	0,013
1 (PP)	0-20	179	0,015	214	51	0,008
1 (PP)	20-40	104	0,017	109	28	0,013
1 (MT)	0-5	135	0,028	171	62	0,007
1 (MT)	5-10	147	0,024	173	60	0,009
1 (MT)	10-20	138	0,008	135	19	0,007
2	0-20	117	0,013	148	39	0,007
2	20-40	72	0,020	80	25	0,011
3	0-20	100	0,016	118	31	0,008
3	20-40	56	0,21	58	16	0,018
4	0-20	165	0,015	227	56	0,005
4	20-40	98	0,020	116	36	0,009
5	0-20	136	0,007	147	17	0,006
6	0-20	125	0,009	132	17	0,007

orgánico (k) por las condiciones aeróbicas en que se efectuaron las incubaciones.

Estimación de la mineralización de N

Por encima de los 30°C se ha reportado interacción entre temperatura y humedad (Cassman, Munns 1980), no obstante, considerando ésta como una situación extrema y por simplicidad, la estimación del N mineralizado fue realizada en base al producto de N_0 y k, siendo esta última ajustada por temperatura y humedad considerados en forma independiente. El programa de cálculo NMIN requiere como información de entrada: k, N_0 , contenido de humedad a límite máximo (Wmax) y mínimo (Wo) de agua extraíble y los valores promedios de temperatura y humedad semanal de suelo. Para transformar la concentración de N (mg kg⁻¹) a cantidad (kg ha⁻¹) el programa requiere la información de profundidad (cm) y densidad aparente (g cm⁻³).

A modo de ejemplo, para el Suelo 1 GT de Balcarce y para el período correspondiente al cultivo de trigo en 1988 (principios de agosto a mediados de diciembre), se presenta en la Tabla 3 las cantidades de N mineralizadas por semana. El año analizado se caracterizó por elevadas precipitaciones, lo que permite observar el efecto del incremento de las temperaturas a lo largo del ciclo sobre las cantidades de N mineralizado.

El valor reportado para el horizonte superficial, si bien supera al obtenido en profundidad, sólo representa el 56,8 % del N mineralizado en los primeros 40 cm. Este porcentaje es menor que el reportado por Cassman y Munns (1980) y sugeriría que los valores de N mineralizado en profundidad estarían sobreestimados, lo que constituye una nueva evidencia de que las k en profundidad deberían ser menores a las determinadas experimentalmente.

En base a estos resultados o se descarta la posibilidad de efectuar valoraciones de la mineralización de N en horizontes subsuperficiales o se plantea como alternativa el empleo de la constante de mineralización del horizonte superficial del Suelo 1 GT. La estimación de N mineralizado en profundidad es de 33,0 kg ha⁻¹, lo que daría un total de 95,7 kg ha⁻¹ en los 40 cm, con un aporte en superficie que prácticamente duplica al del horizonte subsuperficial. Estos resultados parecerían ajustarse más a la realidad, no obstante, la validez de los mismos deberá ser confirmada con la absorción efectuada por la planta.

Si bien se encontraron diferencias en los valores de k de los horizontes superficiales (Tabla 2) (promedio = 0,0070 d⁻¹ DS = 8,75⁻⁴), las mismas no fueron de una magnitud tal que impida a los fines de orden práctico el empleo de un valor único de k, tal como lo propusieron

Tabla 3: Temperaturas y humedad promedio semanal del Suelo I durante el ciclo del cultivo de trigo 1988 y estimación del N mineralizado semanal y acumulado.

SEM	TEMPE- RATURA °C	HUMEDAD		NITROGENO MINERALIZADO			
		g g ⁻¹		sem acum		sem acum	
		0-10 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm
1	7,50	0,21	0,20	0,76	0,76	0,93	0,93
2	8,70	0,22	0,20	0,98	1,74	1,02	1,95
3	9,40	0,33	0,29	3,10	4,84	2,73	4,68
4	9,10	0,31	0,28	2,66	7,50	2,47	7,15
5	8,40	0,28	0,25	2,04	9,54	1,93	9,08
6	10,50	0,31	0,25	2,88	12,42	2,20	11,28
7	10,40	0,30	0,24	2,68	15,10	1,85	13,13
8	12,40	0,31	0,27	3,45	18,55	2,82	15,95
9	12,40	0,33	0,29	3,70	22,25	3,21	19,16
10	12,50	0,32	0,28	3,46	25,71	2,99	22,15
11	10,50	0,32	0,26	3,06	28,77	2,31	24,46
12	13,80	0,32	0,27	3,69	32,46	3,08	27,54
13	13,80	0,29	0,26	3,14	35,60	2,69	30,23
14	18,10	0,27	0,23	3,30	38,90	2,82	33,05
15	17,80	0,32	0,24	4,91	43,81	3,04	36,09
16	19,30	0,30	0,23	4,63	48,44	2,86	38,95
17	19,10	0,24	0,18	2,59	51,03	1,33	40,28
18	21,30	0,29	0,23	5,09	56,12	3,49	43,77
19	22,60	0,32	0,28	6,56	62,68	5,50	49,27

Sem: semana

Acum: acumulado

originalmente Stanford y Smith (1972) y más recientemente Campbell *et al.* (1981) y Dalal y Mayer (1987). Los citados autores reportan valores solo ligeramente inferiores a los nuestros (0,054 sem⁻¹; 0,054 sem⁻¹ y 0,057 sem⁻¹ respectivamente).

La estimación de N mineralizado en superficie para el Suelo I con antecesor maíz (MM) no difiere del que tuvo como cultivo antecesor a girasol (GT) (61,0 y 62,7 kg ha⁻¹ respectivamente) mientras que el suelo bajo pastura (73,7 kg ha⁻¹) difiere de ambos. No obstante esto, a los fines de la nutrición vegetal los valores son relativamente homogéneos, por lo que el efecto de distintos cultivos antecesores parecería no reflejarse en las cantidades de N mineralizado con la metodología empleada. En función de lo discutido se avanza en esta segunda posibilidad empleando el valor de k de 0,0078 d⁻¹ correspondiente al horizonte superficial. Posibles problemas en la etapa de obtención de las muestras de suelo podrían justificar estos resultados. En tal sentido existe la posibilidad de no haber logrado una muestra que incluya los restos vegetales parcialmente descompuestos, o que los mismos hayan sido eliminados en la etapa de tamizado, evitando el efecto inmovilizador de los mismos. Esta

alternativa, lamentablemente no puede ser descartada, en particular para el suelo con cultivo antecesor maíz (Echeverría 1988).

La estimación de la mineralización de N con la metodología propuesta tropieza en muchas localidades con la falta de los registros de las temperaturas del suelo. El empleo de las temperaturas media del aire resultó en estimaciones de N mineralizado poco satisfactorias, ya que por ejemplo, para el Suelo I (GT) se determinó un total de 56,5 kg N ha⁻¹ el que subestima en 6,2 kg (9,9%) el calculado en base a temperatura de suelo. Una alternativa para calcular la temperatura de suelo es empleando relaciones lineales empíricas con la temperatura del aire, para las distintas estaciones (Navarro Duymovich *et al.* 1985). Dichos autores para Balcarce en primavera determinaron que:

$$Y = -0,87 + 1,22 X \quad r = 0,95 \quad S_{yx} = 0,90 \quad (1)$$

donde:

Y = temperatura del suelo a 10 cm. (°C).

X = temperatura media del aire (°C).

r = coef. de correlación.

S_{yx} = error estandar.

La cantidad de N mineralizado empleando la ecuación

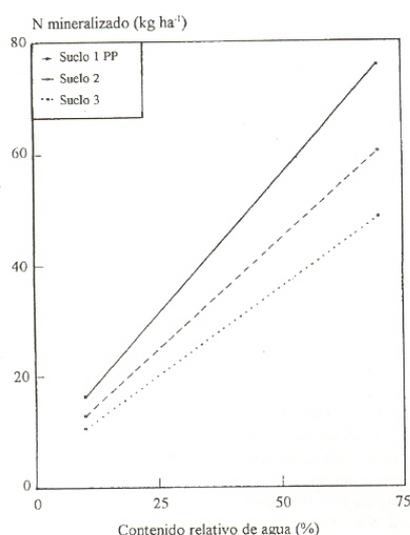


Figura 1: Nitrógeno mineralizado estimado, para distintos suelos, a partir del modelo NMIN para diferentes contenidos de humedad.

(1) es de $65,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ el que sobreestima al calculado en base a temperatura de suelo en sólo $2,4 \text{ kg}$ ($3,8 \%$). En futuros trabajos se debería mejorar la estimación de temperatura de suelo, teniendo en cuenta para su cálculo temperatura del aire mínima y máxima, biomasa vegetal, temperatura del suelo inicial y difusividad térmica (Parton 1984).

Para los horizontes superficiales de los Suelos 2 y 3 correspondientes a las localidades de Tres Arroyos y Dorrego respectivamente, por no poseer información de temperatura de suelo, se asumió como válida la ecuación (1) y se calculó el N mineralizado para distintos porcentajes de agua útil durante todo el ciclo (19 semanas) (Figura 1). En dicha Figura se incluye el Suelo 1 (PP) por presentar valores de N_0 mayores. Para los horizontes estudiados cuando la disponibilidad hídrica es elevada (70% de agua útil), las cantidades de N liberadas serían del orden de 45 a 70 kg/ha , mientras que con menor disponibilidad hídrica (20% de agua útil) los valores se reducirían a un rango de 15 a 25 kg ha^{-1} . Considerando que en otras experiencias se determinaron cantidades de N_0 más elevadas bajo pastura (Rizzalli *et al.* 1984), es probable que los valores superiores de los rangos comentados sean en algunos suelos mayores aún. No obstante ello, estos resultados destacan el efecto de la disponibilidad hídrica sobre la mineralización estimada de N en una estación de crecimiento.

Considerando los supuestos y simplificaciones realizadas, los valores de N mineralizado reportados en este trabajo, constituyen una primera aproximación de las cantidades que podrían liberarse por dicho proceso y deberían ser validadas con las absorbidas por las plantas.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se describe un procedimiento que permite efectuar estimaciones del aporte de N por mineralización a partir de la integración de características edáficas y del contenido de agua y la temperatura promedio de suelo del período a evaluar.

Las características de suelo requeridas son: N_0 , k , densidad aparente y profundidad del horizonte. Aplicando este procedimiento a horizontes superficiales ($0,2 \text{ m}$) de suelos del sudeste bonaerense, durante la estación de crecimiento del cultivo de trigo, se han estimado valores elevados (45 a 75 kg ha^{-1} de N) cuando la disponibilidad hídrica es alta (70% de contenido relativo de agua) y muy inferiores (15 a 25 kg ha^{-1} de N) ante contenidos de disponibilidad hídrica menor (20% de contenido relativo de agua).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de la E Suero en el uso del programa VARAL y a los G Studdert y F García en la corrección del manuscrito.

REFERENCIAS

- Bremner J, Keeney D. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Annal. Chem. Acta.* 32: 485-495.
- Campbell C A. 1983. Balance y eficiencia del uso del nitrógeno con énfasis en los suelos de pradera del Canadá. *Actas X Congreso Argentino y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.* pp. 13-63. Mar del Plata.
- Campbell C A, Jame Y W, Winkleman G E. 1984. Mineralization rate constants and their use for estimating nitrogen mineralization in some canadian prairie soils. *Can. J. Soil Sci.* 64: 333-343.
- Campbell C A, Myers R J, Weier K L. 1981. Potentially mineralizable nitrogen, decomposition rates and their relationship to temperature for five Queensland soils. *Aust. J. Soil Res.* 19: 323-332.
- Carter J N, Westerman D T, Jensen M E. 1976. Sugar beet yield and quality as affected by nitrogen level. *Agron. J.* 68: 49-55.
- Craswell E, Waring S. 1972. Effect of grinding on the decomposition of soil organic matter. I. The mineralization of organic nitrogen in relation to soil type. *Soil Biol. Biochem.* 4: 427-433.

- Cassman J, Munns D. 1980. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1233-1236.
- Dalal R C, Mayer R J. 1987. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. VII Dynamics of nitrogen mineralization potentials and microbial biomass. *Aust. J. Soil Res.* 25: 461-472.
- Deans J R, Molina J A, Clapp C E. 1986. Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 323-326.
- Echeverría H E. 1988. Disponibilidad de nitrógeno del suelo y nutrición nitrogenada del trigo en función de diferentes antecesoires. Tesis M. Sc. Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias-U.N.M.P., 77 p.
- Echeverría H E, Ferrari J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* 112. EEA INTA-Balcarce.
- Echeverría H E, Navarro C A. 1978. Efecto de las temperaturas de incubación sobre la mineralización del nitrógeno orgánico. *Actas de la VIII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo*, pp. 42. Buenos Aires
- Goh K M, Haynes R J. 1986. Nitrogen and Agronomic Practice. *In* Mineral Nitrogen in the Plant-soil System, R. J. Haynes, ed. pp. 379-468. Academic Press, New York.
- Gonzalez Montaner J, Maddonni G, Maillard N, Posborg M. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la subregión IV (Sudeste de la provincia de Buenos Aires) *Ciencia del Suelo* 9: 41-51.
- Hadas A, Feigenbaum S, Feigin A, Portnoy R. 1986. Nitrogen mineralization in profiles of differently managed soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 314-319.
- Keeney D R. 1982. Nitrogen-availability indexes. *In* Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, A. L. Page, ed. pp. 711-733. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Myers R J, Campbell C A, Weier K L. 1982. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soil. *Can. J. Soil Sci.* 62: 111-124.
- Navarro C A, Echeverría H E, Gonzalez N, Iglesias M. 1980. Cinética de las reacciones de amonificación y nitrificación en algunos suelos de la Argentina. IX Reunión de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina, pp.431-437.
- Navarro C A, Echeverría H E, Fonalleras M L, Manavella F. 1991. Efecto de los contenidos de humedad sobre la mineralización del nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 9: 13-19.
- Navarro Duymovich M, Della Maggiora A, Vidal N. 1985. Estimación de la temperatura media mensual del suelo en función de parámetros climáticos, para Balcarce (Buenos Aires). Cátedra de Climatología y Fenología. Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce.
- Oyanedel C, Rodríguez J. 1976. Estimación de la mineralización de nitrógeno en condiciones de campo. *Ciencia e Inv. Agr. (Chile)*, 4: 33-44.
- Parton W J. 1984. Predicting soil temperatures in a shortgrass steppe. *Soil Sci.* 138: 93-101.
- Prado O, Rodríguez J. 1978. Estimaciones de las necesidades de fertilización nitrogenada del trigo. *Ciencia e Inv. Agr. (Chile)* 5: 29-40.
- Ris J, Smilde K W, Wijnen G. 1981. Nitrogen fertilizer recommendations for arable crops as based on soil analysis. *Fert. Res.* 2: 21-32.
- Rizzalli R, Navarro C A, Echeverría H E. 1984. Efecto del manejo y estación del año sobre la capacidad de mineralización y v biomasa total en un Argiudol típico del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 2: 61-67.
- SAS Institute Inc. 1985. *In* SAS user's guide: Statistics. Version 5 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Stanford G. 1977. Evaluating the nitrogen-supplying capacities of soils. *Proc. Int. Semin. Soil Environ. Fertil. Manage. Intensive Agric.*, pp. 412-418.
- Stanford G. 1982. Assessment of soil nitrogen availability. *In* Nitrogen in Agricultural Soil, F. J. Stevenson, ed. pp. 651-688. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Stanford G, Hanway J. 1955. Predicting nitrogen fertilizer needs of low soils: A simplified technique for determining relative nitrate production in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19: 74-77.
- Stanford G, Smith S J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 465-472.
- Stanford G, Carter J N, Smith S J. 1974. Estimates of potentially mineralizable soil nitrogen based on short-term incubations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:99-102.
- Stanford G, Frere M H, Schwaninger D H. 1973. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. *Soil Sci.* 115: 321-323.
- Suero E E, Costa J L, Spinelli A. 1988. Agua del suelo. II Modelo de simulación de la variación de almacenaje. VARAL. Actas del XI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes.