

# Modelo para estimar la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo

Benintende, M.C., S.M. Benintende, M.A. Sterren, C. Musante, M. Saluzzio y J.J. De Battista

## RESUMEN

Las incubaciones aeróbicas de largo plazo permiten estimar el potencial de mineralización de N del suelo ( $N_0$ ), pero requiere largos tiempos para su determinación. El N mineralizado en incubaciones anaeróbicas (N-IA) es una alternativa de corto tiempo que también permite predecir la capacidad de mineralización del nutriente. Los objetivos fueron: a) establecer el grado de asociación y la relación entre  $N_0$  y N-IA en algunos suelos de Entre Ríos, Argentina, y b) realizar una comprobación del modelo generado sobre otro grupo de datos, con el fin de establecer la posibilidad de utilizarlo como estimador del potencial de mineralización en suelos. Se encontró una correlación positiva entre  $N_0$  y N-IA ( $r = 0,86^{***}$ ). El modelo lineal ajustado para estimar  $N_0$  a partir del N mineralizado en incubaciones anaeróbicas (PMN-IA) fue  $1,131 \text{ N-IA} + 55,28$  ( $R^2 = 0,74$ ). Las diferencias entre  $N_0$  y PMN-IA fueron de 10%. Para el N mineralizable en condiciones de temperatura y humedad a campo durante el ciclo de un cultivo, estas diferencias representaron entre 4 y 10 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ . Se concluye que el N-IA permitió apreciar diferencias entre suelos y manejos diferentes y su empleo es factible de utilizar como técnica rápida y sencilla para estimar  $N_0$ .

**Palabras clave:** fertilidad nitrogenada, diagnóstico, N mineralizado, incubaciones anaeróbicas

Benintende, M.C., S.M. Benintende, M.A. Sterren, C. Musante, M. Saluzzio and J.J. De Battista, 2007. Soil Nitrogen supply capacity: an estimation model. Agriscientia XXIV (2): 97-101

## SUMMARY

Long term aerobic incubations allow estimation of nitrogen mineralization potential of soils ( $N_0$ ), but is a time consuming technique. Anaerobic incubation (N-AI) is a short time consumer alternative, which also allows predicting the nitrogen nutrient mineralization capacity. The objectives were: a) to establish the associa-

---

Fecha de recepción: 03/06/07; fecha de aceptación: 21/12/07

tion degree and the relationship between  $N_0$  and N-AI obtained from some soils of Entre Ríos, Argentina, and b) to check the generated model using a different group of data to establish the possibility to use the model as an estimator of the potential mineralization capacity. We found a positive correlation between  $N_0$  and N-AI ( $r = 0.86^{**}$ ). The lineal model adjusted to estimate  $N_0$  from N mineralized in anaerobic incubations (NMP-AI) was  $1.131 \text{ N-AI} + 55.28$  ( $R^2 = 0.74$ ). The differences between  $N_0$  and NMP-AI were 10%. The difference represented 4 to 10 kg N  $\text{ha}^{-1}$  for N mineralized in field conditions. We concluded that N-AI allow showing differences among different soils and managements and can be used as a simple and rapid technique to estimate  $N_0$ .

**Key words:** nitrogen fertility, diagnostic, mineralized N, anaerobic incubation

M.C. Benintende, S.M. Benintende, M.A.. Sterren, C. Musante y M. Saluzzio. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER. CC24 (3100) Paraná, Entre Ríos, Argentina. J.J. De Battista EEA INTA Concepción del Uruguay. Correspondencia a M. C. Benintende: crisben@fca.uner.edu.ar

Conocer la dinámica del nitrógeno en los sistemas productivos permite mejorar la eficiencia de utilización de este elemento y ayuda a estimar las necesidades reales de fertilización.

El método del balance de N para diagnosticar necesidades de fertilización es una herramienta orientativa, y para su aplicación se debe conocer la oferta de N del suelo y la demanda de este elemento por los cultivos. La oferta del suelo incluye el N residual y el N mineralizado durante el ciclo del cultivo (Oyanedel y Rodríguez, 1977). La mineralización del N del suelo está fuertemente relacionada a una fracción activa de este elemento y poco al N total presente en el suelo (Campbell *et al.*, 1981).

Se han desarrollado diversos métodos para estimar la cantidad de N del suelo que se mineralizará durante el período del cultivo y las tasas a las que este proceso ocurre, o sea, la capacidad de aporte de N de un suelo determinado. Stanford y Smith (1972) aplicaron la expresión:  $N_m = N_0(1 - e^{-kt})$  donde  $N_m$  es la cantidad de N mineralizado acumulado en un período específico de tiempo;  $N_0$  es el N potencialmente mineralizable;  $t$  el tiempo en semanas y  $k$  es la constante de velocidad de mineralización.

Sobre esta base se puede estimar el  $N_0$ , una fracción definida y medible que representa la fracción de N orgánico susceptible de ser mineralizado (Oyanedel y Rodríguez, 1977; Echeverría *et al.*, 2000; Cabrera, 2000). Se basa en la utilización de conceptos biológicos básicos que hacen que esta téc-

nica sea la mejor y la menos empírica para estimar las fuentes de suministro de N de los suelos (Campbell *et al.*, 1981). Sin embargo, presenta inconvenientes en relación con los largos períodos de incubación necesarios para estimar la capacidad de los suelos de suministro de N. Esto hace que esta técnica no pueda utilizarse como análisis de rutina en laboratorio de diagnóstico de fertilidad nitrogenada. Surge entonces la necesidad de encontrar métodos de laboratorio más simples y rápidos que permitan estimar el  $N_0$ . Se han propuesto numerosos índices que posibiliten esta estimación de la disponibilidad de N a partir de análisis químicos y biológicos, pero sólo algunos han brindado resultados satisfactorios.

Sterren *et al.* (2001), trabajando con una amplia gama de suelos y manejos, ajustaron modelos de estimación del N mineralizable basado en la extracción con cloruro de potasio 2 M, propuesto por Gianello y Bremner (1986), y en incubaciones anaeróbicas de siete días (N-IA), propuesto por Waring y Bremner (1964). Posteriormente Benintende *et al.* (2003) con mayor cantidad de datos encontraron un mejor ajuste utilizando la técnica de cloruro de potasio 2 M. Sin embargo, los valores estimados mediante el modelo utilizado presentaron un menor rango absoluto que los obtenidos por incubaciones aeróbicas a largo plazo, lo que indica una menor sensibilidad de la técnica de estimación.

Las incubaciones anaeróbicas de muestras de suelo durante siete días fueron estudiadas por Echeverría *et al.* (2000) y por Calviño y Echeverría (2003), quienes concluyeron que puede ser un buen pre-

dictor de la capacidad de mineralización de N del suelo. Entre las ventajas de la utilización de esta técnica, Echeverría *et al.* (2000) destacan la mínima influencia del tratamiento previo de las muestras sobre los resultados, la ausencia de problemas relacionados con el ajuste a condiciones óptimas de humedad durante la incubación y el bajo requerimiento de aparatos y reactivos.

Este trabajo se realizó con los objetivos de:

- Establecer el grado de asociación y la relación entre  $N_0$  y N-IA en algunos suelos de uso agrícola de la provincia de Entre Ríos, Argentina.

- Realizar una comprobación del modelo generado sobre otro grupo de datos, con el fin de establecer la posibilidad de utilizarlo como estimador del potencial de mineralización en suelos.

Se seleccionaron muestras del horizonte superficial del suelo de lotes en uso agrícola, con una variada historia cultural y sistemas de manejo, tomadas en un lapso de 3 años. En cada caso se tomaron tres muestras compuestas de más de 20 submuestras. Los suelos estudiados corresponden al orden Molisol (Argiudoles), al oeste de la provincia de Entre Ríos, y Vertisol (Peludertes) en el centro, con una amplia zona intermedia en la cual se mezclan los dos órdenes dando lugar a una intergradación (Argiudoles vérticos).

Las muestras de suelo fueron acondicionadas mediante secado al aire y tamizado por 2 mm y por 0,5 mm. Los contenidos de C orgánico y de N total de los horizontes superficiales de los sitios estudiados, determinados sobre la fracción tamizada por 0,5 mm, se presentan en la Tabla 1.

El  $N_0$  se determinó mediante la técnica propuesta por Stanford y Smith (1972). Se incubaron 10 g de suelo tamizados por 2 mm mezclados con arena

**Tabla 1.** Características de los suelos analizados.

Suelo	Manejo	C Org. (g kg <sup>-1</sup> )	N total (g kg <sup>-1</sup> )
Peluderte árgico	Uso agrícola	26,0	1,64
	Labranza convencional		
Peluderte árgico	Uso agrícola	23,5	2,00
	Siembra directa		
Argiudol vértico	Uso agrícola trigo	18,7	1,70
	Siembra directa		
Peluderte árgico	Uso agrícola trigo	18,7	1,77
	Argiudol ácuico	21,1	ND
Argiudol ácuico	Uso agrícola maíz	17,9	1,54
	Siembra directa		
Argiudol vértico	Uso agrícola trigo	18,9	1,64
	Siembra directa		
Peluderte árgico	Uso agrícola trigo	20,5	1,72
	Argiudol vértico	13,0	1,24
Argiudol vértico	Uso agrícola maíz	21,8	1,73
	Peluderte árgico	20,8	1,86
Argiudol vértico	Suelo degradado	10,1	0,84
	Argiudol vértico	14,3	1,03

estéril durante 150 días. Al comienzo de la incubación y a los 7, 14, 28, 56, 94, 122 y 150 días las muestras fueron percoladas con cloruro de calcio 0,01 M. En el percolado se determinó la concentración de N mineral por microdestilación por arrastre de vapor (Bremner & Keeney, 1965). El  $N_0$  se estimó como la inversa del intercepto de una regresión lineal entre la inversa del N mineralizado acumulado, y la inversa del tiempo expresado en semanas.

Para la determinación del N orgánico mineralizado en anaerobiosis (N-IA) se colocaron cinco

**Tabla 2.** N mineralizado estimado durante el ciclo de los cultivos a partir de  $N_0$  de la ecuación cinética de primer orden y de los PMN-IA estimados.

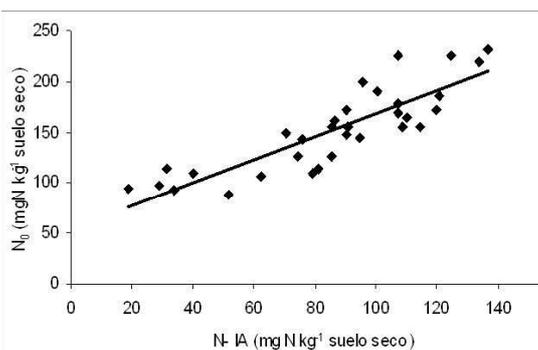
Suelo	Cultivo	N total g kg <sup>-1</sup>	$N_0$ mg kg <sup>-1</sup>	N-IA mg kg <sup>-1</sup>	N min ( $N_0$ ) kg N ha <sup>-1</sup>	N min (PMN- IA) kg N ha <sup>-1</sup>
Argiudol acuico	Maíz	1,54	183	66,5	132	136
Argiudol vértico	Trigo	1,70	104	50,4	61	71

$N_0$ : Nitrógeno potencialmente mineralizable calculado a partir de la ecuación propuesta por Stanford y Smith.

N-IA: Nitrógeno orgánico mineralizado en anaerobiosis (Waring & Bremner, 1964).

N min ( $N_0$ ): N mineralizado durante el ciclo de un cultivo, corregido por humedad y temperatura de campo (Oyanedel y Rodríguez, 1977) a partir del  $N_0$ .

N min (PMN- IA): N mineralizado durante el ciclo de un cultivo, corregido por humedad y temperatura de campo (Oyanedel y Rodríguez, 1977) a partir del PMN-IA.



$N_0$ : Nitrógeno potencialmente mineralizable calculado a partir de la ecuación propuesta por Stanford y Smith.

N-IA: Nitrógeno orgánico mineralizado en anaerobiosis (Waring & Bremner).

**Figura 1.** Relación entre  $N_0$  y N-IA

gramos de suelo en tubos de ensayo y se completó el volumen con agua deionizada. Se incubaron durante siete días a 40 °C (Waring & Bremner, 1964). Finalizada la incubación se adicionaron 12 ml de cloruro de potasio 4 M y se determinó el contenido de amonio por micro destilación por arrastre de vapor (Bremner & Keeney, 1965). El N mineralizado se calculó como la diferencia entre el amonio producido después de la incubación y la cantidad inicial en la muestra, obtenida con el mismo procedimiento.

Se efectuó un análisis de correlación entre  $N_0$  y N-IA sobre 32 pares de datos. Se ajustó un modelo lineal entre estas variables mediante el cual se pudo estimar el N potencialmente mineralizable (PMN-IA) utilizando los resultados de las incubaciones anaeróbicas (N-IA).

La validación del modelo se realizó mediante contrastación de los  $N_0$  y los PMN-IA, empleándose para ello seis pares de datos no utilizados en la generación del modelo. Estos datos correspondían a un suelo Argiudol vértico y a un Argiudol ácuico.

Para estimar el N que se mineraliza durante el ciclo de un cultivo de ciclo estival y uno invernal, el  $N_0$  y el PMN-IA fueron ajustados por temperatura y humedad del suelo durante el período de desarrollo de los cultivos, mediante la ecuación, propuesta por Oyanedel y Rodríguez (1977).

$$Nm = N_0 \exp\{2,3(7,71 - 2758/T)\} * (1,11 \theta/\theta_0 - 0,138)$$

Donde: Nm es el N mineralizado;  $N_0$ , el N potencialmente mineralizable; T la temperatura edáfica en grados Kelvin (°K);  $\theta$ , el contenido volumétrico de agua y  $\theta_0$  el contenido volumétrico de agua óptimo para la mineralización, humedad retenida en el suelo al aplicar una succión de 6,08 MPa (Cavalli y Rodríguez, 1975)

Los datos de temperatura del suelo utilizados en

el modelo fueron los promedios semanales para la profundidad correspondiente, registrados en el período 1934-1989. (Datos del observatorio meteorológico de la EEA Paraná de INTA.). El contenido de humedad fue determinado durante el ciclo de los cultivos por gravimetría.

Los valores de  $N_0$  fluctuaron entre 88 y 231 mg de N  $kg^{-1}$  de suelo y los de N-IA entre 18,9 y 136,6 mg de N  $kg^{-1}$  de suelo. Los valores más altos en ambos casos correspondieron a lotes en siembra directa en suelos Vertisoles y los más bajos a lotes con suelos Argiudoles vérticos con larga historia agrícola y con síntomas de degradación por erosión. Ello pone de manifiesto que los resultados de ambos métodos reflejan el manejo que se aplica en los suelos estudiados. La correlación entre los valores de  $N_0$  y N-IA fue  $r = 0,86^{**}$ .

El modelo lineal ajustado fue  $PMN-IA = 1,131N-IA + 55,28$  ( $R^2 = 0,74$ ), con el que se podrían realizar estimaciones de N mineralizable.

Echeverría *et al.* (2000) encontraron una relación similar y con buen ajuste entre  $N_0$  y N liberado en incubaciones anaeróbicas, trabajando con suelos de diversas regiones del país. Además concluyeron que esta asociación no difirió entre años ni entre sistemas de manejo de cultivos.

Los PMN-IA estimados mediante el uso de la ecuación fluctuaron entre 77 y 210 mg de N  $kg^{-1}$  de suelo, por lo que el rango absoluto es 7% inferior al de los  $N_0$ . En la validación del modelo se encontró una diferencia de 10% entre  $N_0$  y los PMN-IA estimados.

La utilización de los datos de  $N_0$  y los PMN-IA estimados en el modelo propuesto por Oyanedel y Rodríguez, permitió estimar el N que se mineraliza en condiciones de campo durante el ciclo de dos cultivos (Tabla 2). Las diferencias encontradas en N mineralizado representaron 4 y 10  $kg$  de N  $ha^{-1}$ . El  $N_0$  representó el 6,1% del N total en el suelo Argiudol ácuico y el 11,8% del N total en el Argiudol vértico, en tanto que el N mineralizado, corregido por temperatura y humedad, representó el 30% del  $N_0$  cuando se calculó para el ciclo de un cultivo de maíz y el 24% del  $N_0$  para el cultivo de trigo. Esta fracción de N mineralizado corregido, representó el 3,5 y 1,5% del N total del suelo para el cultivo de maíz y trigo, respectivamente.

Si se trabajara basándose en la probabilidad de precipitaciones y utilizando los promedios históricos de temperatura del suelo, el PMN-IA podría ser utilizado en el diagnóstico de fertilidad nitrogenada en cultivos.

Resulta importante remarcar que, si bien las incu-

baciones cortas de 7 días constituyen una técnica rápida y sencilla de estimación del  $N_0$  derivado de la ecuación cinética de primer orden, cuando fueran utilizadas con fines diagnósticos de fertilidad nitrogenada, los resultados requerirán ser complementados con la predicción del aporte de N a partir de los residuos de cultivos antecesores en descomposición, tal como lo señalan Rice y Havlin (1994) y Studert *et al.* (2000).

Para los suelos estudiados, el N mineralizado en incubaciones anaeróbicas de 7 días permitió apreciar diferencias entre suelos y manejos diferentes, y su empleo es factible como técnica rápida y sencilla para estimar  $N_0$ .

Si se utiliza el modelo propuesto por Oyanedel y Rodríguez con datos medios semanales de temperatura del suelo durante el ciclo de un cultivo y con humedad de suelo estimada en base a probabilidad de precipitaciones, podría utilizarse el PMN-IA en el diagnóstico de fertilidad nitrogenada en cultivos.

## BIBLIOGRAFIA

- Benintende, M.C.; C. Müller; S. Benintende y M.A. Sterren, 2003. Índice del potencial de mineralización de nitrógeno en los suelos. *Revista Científica Agropecuaria*, 7(1): 51-55.
- Bremner, J. and D. Keeney, 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Annal. Chem. Acta*, (32): 485-495.
- Cabrera, M., 2000. Ciclaje de nutrientes. Libro de Resúmenes del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Campbell, C.; R. Myers y K. Weier, 1981. Potentially mineralizable nitrogen, descomposition rates and their relationship to temperature for five Queensland soils. *Soil Sci Res.*, 19: 323-332.
- Cavalli, I. and J. Rodríguez, 1975. Efecto de la humedad en la mineralización de N en nueve suelos de la provincia de Santiago. *Ciencia e Invest. Ag.*, 2(2): 101-111.
- Calviño, P.A. y H.E. Echeverría, 2003. Incubación anaeróbica del suelo como diagnóstico de la respuesta a nitrógeno del maíz bajo siembra directa. *Ciencia del suelo*, 21(1): 24-29.
- Echeverría, H.E.; N.F. San Martín y R. Bergonzi, 2000. Métodos rápidos de estimación de nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ciencia del Suelo*, 18(1): 9-16.
- Gianello, C. and J.M.A. Bremner, 1986. Simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 17: 195-214.
- Oyanedel, C. y J. Rodríguez, 1977. Estimación de la mineralización de nitrógeno en el suelo. *Revista Ciencia e Investigación Agraria*, 4: 32-44.
- Rice, C.W. and J.L. Havlin, 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations. In: Havlin, J.L. and J. Jacobsen, *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. Eds.: SSSA Sp. Pub. 40. Soil Sci.Soc. Am. Madison, Wisconsin. EEUU. pp. 1-13.
- Stanford, G. 1982. Assessment of soil nitrogen availability. In: Stevenson (Eds.), *Nitrogen in Agricultural soils*. ASA pp.651-683.
- Stanford, G and S.J. Smith, 1972. Nitrogen Mineralization Potentials of soils. *Soil Science Society of American Proceedings*, 36(3): 465-472.
- Sterren, M.; S. Benintende y M. Benintende, 2001. Comparación de índices para estimar el nitrógeno potencialmente mineralizable en el suelo. 3ª Reunión Nacional Científico – técnica de Biología del Suelo. Salta. Actas en CD.
- Studert, G.A; L.S. Carabaca y H.E. Echeverría, 2000. Estimación del nitrógeno mineralizado para un cultivo de trigo en distintas secuencias de cultivo. *Ciencia del Suelo*, 18(1):17-27.
- Waring, S.A. and J.M. Bremner, 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 201: 951-952.