

Capacidad de suplencia de N de suelos agrícolas de Venezuela^a*N supply Capacity of agricultural soils in Venezuela***Rodolfo Delgado y Teresa Barrera**

Investigadores INIA-CENIAP, Maracay, Edo. Aragua, Venezuela, Apdo. Postal 2101

Correos electrónicos: rdelgadocal@hotmail.com y tvbarrera@gmail.com**RESUMEN**

La determinación de la capacidad de suministro de N del suelo es necesaria en el desarrollo de mecanismos de recomendaciones de fertilizantes que permitan el manejo sustentable de los sistemas de producción. Se realizó la evaluación en invernadero de la capacidad de suplencia de N de 15 suelos agrícolas de Venezuela utilizando el N extraído por *Brachiaria brizanta* a los 35 (Nabs35), 60 (Nabs60) y 90 días (Nabs90) después de la siembra. Los suelos se agruparon o categorizaron como de alta (ACSN) o baja capacidad de suplencia del elemento (BCSN); el N total disponible (NabsT) promedio fue de 499 mg kg⁻¹ para ACSN y 151 mg kg⁻¹ para BCSN, donde 72,5 y 38,3 % corresponde a Nabs35, respectivamente. Nabs35, Nabs60 y Nabs90 representaron el 25,5; 6,31; y 3,34 % del N total del suelo (NT) en ACSN; y 7,22; 5,85 y 5,79 % en BCSN. El N extraído en KCl (N_KCl), la materia orgánica del suelo (MOS) y el producto de MOS y N_KCl (MOS*N_KCl) se relacionaron significativamente con el Nabs35 y NabsT. La MOS y el NT se relacionaron significativamente ($R^2 = 0,845$). La relación entre Nabs35 y MOS*N_KCl podría utilizarse para categorizar suelos en ACSN o BCSN y determinar la proporción de N disponible relativa al NT. Se estimó que en ACSN la fracción de N de fácil mineralización (0-60 días), mediana mineralización (60-90 días) y estable (> 90 días) constituyeron el 22,0; 12,0 y 66,0 % del NT, mientras en BCSN fueron el 0,0; 16,0 y 84,0 %, respectivamente.

Palabras clave: nitrógeno del suelo; absorción de nitrógeno; índices de disponibilidad de nitrógeno; índices de nitrógeno.

ABSTRACT

Assessing the soil capacity to supply N is needed in the development of mechanisms for fertilizer recommendations that allow sustainable management of production systems. The capacity of 15 agricultural soils from Venezuela to supply N was evaluated in a greenhouse experiment using the N uptake by *Brachiaria brizanta* at 35 days (Nabs35), 60 days (Nabs60), and 90 days (Nabs90) after planting. Soils were grouped into two classes, namely: high (HNSC) and low N-supply capacity (LNSC); the total available N (NabsT) was 499 mg kg⁻¹ for HNSC and 151 mg kg⁻¹ for LNSC. The proportion of the NabsT corresponding to Nabs35 was 72.5 % for HNSC and 38.3 % for LNSC. In HNSC, Nabs35 corresponded to 25.5%, Nabs60 to 6.31% and Nabs90 to 3.34% of the total soil N (TN), whereas in LNSC Nabs35 corresponded to 7.22%, Nabs60 to 5.85% and Nabs90 to 5.79% of the TN. The N extracted in KCl (N_KCl), soil organic matter (SOM), and the product of SOM by N_KCl (SOM*N_KCl) were significantly related to Nabs35 and NabsT. SOM was significantly related to NT ($R^2 = 0.845$). The relationship between Nabs35 and SOM*N_KCl could be used to classify the soils as HNSC or LNSC and to estimate the proportion of available N. We estimated that in HNSC the fraction of N easily mineralizable (0-60 days), moderately mineralizable (60-90 days), and stable (> 90 days) corresponded to 22.0, 12.0 and 66.0% of NT, while in LNSC these fractions were 0.0; 16.0 and 84.0 %.

Key words: soil nitrogen; nitrogen uptake; nitrogen availability indexes; nitrogen indexes.

INTRODUCCIÓN

La determinación de índices o parámetros que indiquen la disponibilidad de N en el suelo para los cultivos, y que puedan ser empleados para la determinación de dosis apropiadas de fertilizantes nitrogenados, aun constituye un reto para el logro de una agricultura sustentable en Venezuela. La capacidad de un suelo para suplir N para la nutrición de los cultivos está relacionada a las formas minerales y orgánicas del elemento en el suelo. El contenido de materia orgánica del suelo (MOS) y N del suelo (Magdoff, 1991) han sido empleados como índices de disponibilidad del N, aunque en algunos casos se han conseguido relaciones pobres entre esos parámetros. Matus et al. (2000) señalan que las tasas de mineralización de C y N están estrechamente relacionadas con los contenidos de MOS ($R^2 = 0,83$).

^a Recibido: 01-02-12; Aceptado: 20-07-15

Aunque la concentración de los contenidos iniciales de N mineral (N-NO₃ y N-NH₄) normalmente representa una pequeña proporción del total de N tomado por los cultivos, normalmente se ha conseguido una significativa y positiva relación entre esas dos variables (Binford et al., 1992 y Fox et al., 1989). Sin embargo su utilidad como índice de disponibilidad de N es cuestionada debido a la alteración potencial de la distribución en el perfil del suelo después del muestreo, asociada a la dinámica del agua (Holford et al., 1997).

En Venezuela, en condiciones controladas en invernadero, Delgado (2002) destaca la relación entre el rendimiento relativo, obtenido de la respuesta del cultivo maíz a la aplicación de dosis crecientes de N, y el nitrógeno mineral extraído en KCl 2M (N_KCl), y su relación con el N extraído por *Brachiaria brizantha*, utilizado como un cultivo extractor del N disponible en el suelo. En otros estudios (Delgado y Cabrera, 1998) se destaca la correlación significativa entre el N_KCl y el N total absorbido y la materia seca producida por el maíz. Así mismo, Delgado (2001) en estudios de campo en tres suelos de Venezuela, obtuvo relaciones significativas entre la materia seca total producida por el maíz y el N_KCl en el horizonte 0-20 cm de manera conjunta con el N aplicado como fertilizante. En este estudio se investigó la relación entre el N disponible para los cultivos, medido a través del N extraído por una planta extractora (*Brachiaria brizantha*), con el N_KCl, la MOS y otras propiedades de 15 suelos agrícolas de Venezuela. También se analizó la relación entre diferentes propiedades del suelo asociadas con la disponibilidad de N en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de los suelos estudiados:

Se recolectaron muestras de suelo de la capa superficial (0-20 cm) de 15 suelos agrícolas previo al inicio del periodo de lluvias. Las muestras de suelo fueron trasladadas a la Unidad de Laboratorios de Recursos Agroecológicos del INIA-CENIAP donde se secaron al aire y fueron cernidas a través de un tamiz de 5 mm. Durante el proceso de tamizado los terrones de suelo fueron suavemente fracturados con un martillo de goma para facilitar su paso a través del tamiz de 5 mm. La concentración de C orgánico (CO) se determinó por Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982), la textura por el método del hidrómetro (Gee y Bauder, 1986), el N total (NT) por destilación Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) y el pH por el método potenciométrico en una solución suelo:agua de 1:5 (McClean, 1982).

Evaluación del N disponible en el suelo e índices para su evaluación:

El N mineral fácilmente disponible para la planta se extrajo mediante el uso de KCl 2M (N_KCl) como lo sugiere Bremner (1965). Los contenidos de N-NO₃ y N-NH₄ se evaluaron en la solución de KCl 2M mediante un analizador de flujo continuo. Las concentraciones de N-NO₃ y N-NH₄ se evaluaron de manera conjunta como índices de disponibilidad de N (N_KCl).

El N extraído por *Brachiaria brizantha* (empleada como planta extractora) también se empleó como un índice de disponibilidad de N, como lo sugieren Warren y Whitehead (1988) y Jarvis et al. (1996). En un estudio de invernadero, con 4 repeticiones por cada suelo, se sembraron 30 plantas de *Brachiaria* en 5 kg de suelo tamizado en seco a 5 mm. El contenido de humedad del suelo se mantuvo a capacidad de campo durante la ejecución del experimento. Una solución nutritiva, con los principales nutrientes requeridos por las plantas, con la excepción de N, se aplicó a cada maceta al inicio del experimento y después de cada cosecha de la biomasa aérea.

A los 35, 60 y 90 días la parte aérea fue cosechada cortando las plantas a aproximadamente 3 cm sobre la superficie del suelo y secada en estufa a 60 °C. El contenido de N total en el tejido fue evaluado por el método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982). La cantidad de N absorbida por la parte aérea de la planta a los 35 días (Nabs35), 60 días (Nabs60) y 90 días (Nabs90) se calculó utilizando la materia seca producida en cada periodo y la concentración de N en el tejido, y se consideró como el N disponible en el suelo en los periodos 0-35, 35-60 y 60-90 días, respectivamente. La cantidad de N absorbido total (NabsT) se estima de la suma del N absorbido en los diferentes periodos (Nabs35, Nabs60 y Nabs90).

Análisis estadísticos:

Se emplearon los procedimientos GLM, REG y MEANS del SAS versión 7.0 (SAS Institute, Inc., 1998) para evaluar las diferencias significativas entre los promedios de N disponible entre los suelos utilizando Tukey ($\alpha = 0,05$) y para analizar la relación entre las variables de suelo y el suministro de N.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las principales características de los suelos estudiados se indican en el Cuadro 1. La textura varió entre arenosa a arcillosa, el pH entre 5,4 y 8,7; y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre 1,7 y 22 $\text{cmol}_c(+)\text{ kg}^{-1}$.

Cuadro 1. Características de los suelos utilizados en la evaluación de su capacidad de suministro de nitrógeno

Suelo	Ubicación (estado)	Clasificación Taxonómica	Clase textural (0-20 cm)	pH (0-20cm)	Capacidad de intercambio catiónico ($\text{cmol}_c(+)\text{ kg}^{-1}$) (0-20 cm)
Arenales	Aragua	Mollisol	Arcilloso	7,8	22
Maracay	Aragua	Mollisol	Franco arenoso	5,9	12
La Fe	Cojedes	Ultisol	Franco arcilloso	5,4	11
Barinas	Barinas	Alfisol	Franco arenoso	5,8	4,8
Tucutunemo	Aragua	Inceptisol	Franco arcillo arenoso	6,2	11
Chaguarama	Guárico	Alfisol	Franco arenoso	5,7	14
San Carlos	Cojedes	Inceptisol	Franco arenoso	8,5	9,0
El Tigre	Anzoátegui	Ultisol	Arenoso	5,9	1,7
El Pao	Cojedes	Ultisol	Franco arenoso	5,5	3,5
Urachiche	Yaracuy	Alfisol	Franco arenoso	8,6	6,5
Turen	Portuguesa	Mollisol	Franco arenoso	8,7	2,5
Iguana arcilloso	Guárico	Ultisol	Arcilloso	5,4	13
Santa Bárbara	Monagas	Ultisol	Arenoso	6,0	2,7
Uribeque	Yaracuy	Alfisol	Franco arcilloso	7,5	9,1
Iguana arenoso	Guárico	Ultisol	Franco arenoso	5,5	2,8

N disponible en el suelo:

En el Cuadro 2 se indica el N absorbido por la planta extractora (*Brachiaria brizanta*) entre 0-35, 35-60 y 60-90 días en los diferentes suelos evaluados. Mediante la evaluación de las diferencias significativas (Tukey, $\alpha=5$) entre los valores de N absorbido total (NabsT) y Nabs35, se detectó que los suelos se podrían agrupar en dos grupos: un grupo con alta capacidad de suplencia de N (ACSN) conformado por los suelos Arenales, Maracay, La Fe, Barinas y Tucutunemo donde el N absorbido fluctuó entre 738 y 380 mg N kg^{-1} de suelo, y un segundo grupo de baja capacidad de suplencia de N (BCSN) donde el N total absorbido fluctuó entre 210 y 102 mg N kg^{-1} de suelo, conformado por el resto de los suelos. La proporción de N absorbido en cada uno de los periodos (35, 60 y 90 días) en base al total absorbido fue de 72,5; 18,0 y 9,52 % en promedio para el grupo ACSN, y aproximadamente 38,3; 31,0 y 30,7 % para BCSN en los mismos periodos (Cuadro 3).

Se observó que el N extraído en cada periodo de evaluación, promediando el N extraído en los grupos ACSN y BCSN (todos los suelos), en relación al N total extraído (acumulado de los tres cortes o cosechas de N), fue de 55,4 %, 24,5 % y 20,1 % en los periodos 0-35, 35-60 y 60-90 días respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 2. Promedios de las variables asociadas a la disponibilidad de nitrógeno ($n=4$) en los diferentes suelos evaluados, agrupados según su capacidad de suplencia de N.

Suelo	N absorbido (mg kg ⁻¹ suelo)			N absorbido total (mg kg ⁻¹ suelo) (Nabs35+Nabs60+Nabs90)	N extraído KCl (mg N kg ⁻¹ suelo)	Materia Orgánica (%)	N mineral*Mat eria orgánica	N total (%)	C/N
	de 0 a 35 días (Nabs35)	de 35 a 60 días (Nabs60)	de 60 a 90 días (Nabs90)						
Suelos de alta capacidad de suplencia de N (ACSN)									
Arenales	571 (119) a	127 (50) a	39,6 (6,7)	738 (138) a	241 (12)	2,69 (0,22)	651	0,258 (0,004)	6,1
Maracay	391 (62) b	89,7 (32) abc	25,5 (3,6)	507 (35) b	75,7 (8,0)	2,00 (0,12)	151	0,100 (0,003)	12,1
La Fe	350 (38) cb	96,6 (44) ab	33,3 (7,1)	480 (73) bc	98,5 (10)	1,71 (0,07)	169	0,100 (0,006)	10
Barinas	257 (45) cd	56,8 (16) cb	65,4 (9,6)	380 (43) c	48,2 (5,1)	1,41 (0,10)	67,6	0,067 (0,009)	12,3
Tucutunemo	239 (29) d	77,8 (15) abc	73,7 (18)	391 (34) bc	40,2 (8,3)	2,19 (0,06)	87,8	0,191 (0,003)	6,6
Promedio del grupo ACSN	362 A	89,6 A	47,5 A	499 A	101 A	1,99 A	225 A	0,143 A	9,4 A
Suelos de baja capacidad de suplencia de N (BCSN)									
Chaguarama	122 (24) e	46,3 (13) cb	27,5 (9,6)	196 (14) d	42,4 (6,7)	1,80 (0,07)	76,5	0,105 (0,004)	10
San Carlos	88,4 (8,9) e	64,1 (7,7) cb	57,6 (2,5)	210 (8,1) d	29,8 (5,3)	2,03 (0,18)	60,1	0,154 (0,006)	7,6
El Tigre	69,9 (9,1) e	53,3 (6,7) cb	50,0 (15)	173 (19) d	29,4 (3,9)	0,59 (0,09)	17,3	0,015 (0,001)	23,1
El Pao	64,9 (3,0) e	54,3 (12) cb	50,3 (13)	170 (14) d	21,1 (11)	0,96 (0,06)	20,0	0,054 (0,002)	10,3
Urachiche	53,8 (11) e	37,2 (14) c	57,0 (5,7)	148 (8,3) d	14,2 (4,4)	1,74 (0,15)	24,4	0,116 (0,007)	8,7
Turen	50,4 (7,0) e	35,5 (15) c	52,9 (6,8)	139 (20) d	19,4 (4,9)	0,74 (0,06)	14,2	0,063 (0,003)	6,8
Iguana arcilloso	44,6 (8,6) e	44,9 (14) cb	41,6 (13)	130 (25) d	21,5 (13)	1,41 (0,10)	29,5	0,100 (0,002)	8,5
Santa Bárbara	29,7 (9,9) e	51,0 (5,6) cb	44,9 (2,5)	126 (11) d	18,5 (12)	0,79 (0,11)	15,4	0,022 (0,020)	21,7
Uribeque	29,5 (14) e	40,9 (14) cb	31,1 (5,9)	102 (28) d	23,7 (19)	1,62 (0,11)	37,7	0,142 (0,003)	6,6
Iguana arenoso	26,2 (4,4) e	41,9 (8,8) cb	51,1 (7,7)	119 (5,0) d	13,7 (1,7)	1,05 (0,10)	14,3	0,035 (0,003)	17,7
Promedio del grupo BCSN	57,9 B	46,9 B	46,4 A	151 B	23,4 B	1,27 B	31,1 B	0,081 A	12,1 A

Letras minúsculas similares dentro de cada columna indican similitud estadística entre los suelos. Tukey $\alpha = 10\%$.

Letras mayúsculas similares entre los promedios de grupo (ACSN y BCSN) por columna significan similitud estadística entre los grupos de suelos. Tukey $\alpha = 5\%$.

Valores entre paréntesis son valores de desviación estándar.

Es evidente que los suelos del grupo ACSN, además de que presentan una cantidad significativamente mayor de N disponible que el grupo BCSN (Cuadro 2), una gran proporción del mismo (72,5%) es disponible en los primeros 35 días como se observa en el Cuadro 3.

Por otra parte, en el grupo ACSN la cantidad de N absorbido a los 35, 60 y 90 días representa el 25,5; 6,31 y 3,34 % del N total del suelo respectivamente (Cuadro 3), mientras que 64,85 % del N total se considera N estable, que no se mineraliza en los primeros 90 días (calculado por diferencia). En BCSN el N absorbido a los 35, 60 y 90 días corresponde a 7,22; 5,85 y 5,79 % del N total del suelo, mientras que el 81,1 % del N total del suelo se encuentra en la fracción más estable en el suelo.

El N disponible promedio fue de 362; 89,6 y 47,5 mg kg⁻¹ suelo a los 35, 60 y 90 días en el grupo de ACSN, y 57,9; 46,9 y 46,4 mg kg⁻¹ suelo en el grupo de BCSN en los mismos periodos, respectivamente. Las tasas de mineralización diaria, en cada uno de los periodos para cada grupo, se estimaron dividiendo el promedio de N disponible en cada periodo entre el tiempo de cada periodo (35, 25 y 30 días

respectivamente). Se descontó el N mineral promedio inicial extraíble en KCl 2M del N absorbido sólo en el periodo de 0-35 días. En el grupo de ACSN se observaron diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $\alpha=5$) entre las tasas de mineralización ($7,46 > 3,58 > 1,58$ mg N kg⁻¹ d⁻¹) en los periodos 0-35, 35-60 y 60-90 días respectivamente, mientras que en el grupo de BCSN éstas presentaron más similitud aunque igualmente hubo diferencias significativas entre ellas ($1,87 > 1,55 > 0,992$ mg N kg⁻¹ d⁻¹) para cada periodo respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 3. Proporción de N absorbido en cada periodo en relación al N total absorbido y al N total del suelo, y tasa de mineralización por grupo de suelos

Suelos	Periodo de muestreo (días)	Proporción de N absorbido en relación al N total absorbido (%)	Proporción de N absorbido en relación al N total del suelo (%)	Tasa de Mineralización (mg N kg ⁻¹ d ⁻¹)
Suelos de alta capacidad de suplencia de N (ACSN)	0 a 35	72,5	25,5	7,46 a
	35 a 60	18,0	6,31	3,58 b
	60 a 90	9,52	3,34	1,58 c
Suelos de baja capacidad de suplencia de N (BCSN)	0 a 35	38,3	7,22	0,992 c
	35 a 60	31,0	5,85	1,87 a
	60 a 90	30,7	5,79	1,55 b
Todos los suelos	0 a 35	55,4		
	35 a 60	24,5		
	60 a 90	20,1		

De lo antes indicado se destaca: 1) las más elevadas tasas de mineralización en el grupo de suelos ACSN en relación al grupo de suelos BCSN, lo cual posiblemente esté relacionado a que la relación C/N es significativamente más elevada en BCSN (12,1) en relación a la observada en ACSN (9,4) como se indica en el Cuadro 2, lo que sugiere que en ACSN los compuestos orgánicos son menos procesados biológicamente y de más fácil mineralización, contrario a BCSN donde la MOS posiblemente es un material más procesado biológicamente y más estable que en los suelos de ACSN, 2) las significativas diferencias en las tasas de mineralización entre los diferentes periodos evaluados en los suelos de los grupos ACSN y BCSN sugieren que posiblemente existan compartimientos de N orgánico con diferentes características. Aunque en este estudio no se puede establecer con precisión cuanto del N absorbido por *Brachiaria*, en cada uno de los periodos (0-35, 35-60 y 60-90 días) proviene de cada uno de los compartimientos orgánicos (asumiendo que los diferentes compartimientos se mineralizan simultáneamente), en ACSN las diferencias significativas entre las tasas estimadas de mineralización como se indicaron previamente ($7,46 > 3,58 > 1,58$ mg N kg⁻¹ d⁻¹) sugieren que una gran proporción del N absorbido en los periodos 0-35 y 35-60 días proviene de la mineralización de compuestos orgánicos de fácil mineralización, mientras que el N absorbido entre los 60 y 90 días, que se mineraliza a una tasa más lenta ($1,58$ mg N kg⁻¹ suelo), proviene de un compartimiento de materiales orgánicos de más lenta mineralización. Por otra parte, en este grupo de suelos de ACSN, la proporción del N total del suelo que no se contabiliza en la cantidad mineralizada hasta los 90 días (64,85 % del N total), está conformada por formas orgánicas del elemento más estables y de lenta tasa de mineralización.

En el grupo de suelos de BCSN las tasas de mineralización normalmente fueron inferiores a las observadas en ACSN y sólo la obtenida entre 60 y 90 días se encuentra en el mismo orden de magnitud que la observada en el mismo periodo en el grupo ACSN. En el grupo de suelos de BCSN creemos que, debido a que 1) las tasas de mineralización son muy inferiores a las observadas en el grupo ACSN y 2) que las tasas de mineralización están muy próximas unas de otras en los diferentes periodos de evaluación, que una gran proporción del N mineralizado proviene de una fracción orgánica de más mediana mineralización y sólo una pequeña proporción de la fracción de N orgánico de fácil mineralización. En BCSN posiblemente la mayor proporción de N total (81,1%) se encuentra en la fracción orgánica de muy lenta mineralización o fracción relativamente estable.

El conocimiento del aporte de los diferentes compartimientos operativos de la MOS (Von Lutzow *et al.*, 2007) y del N total del suelo en la suplencia de N para la nutrición de los cultivos, así como el impacto en los mismos de los diferentes procesos y factores del suelo, podría ser útil para pronosticar la capacidad de suministro de N de dichos compartimientos en los periodos de mayores requerimientos de los cultivos de ciclo corto (p. ej., maíz), lo cual se podría asociar con mecanismos integrales de recomendación y manejo de la fertilización nitrogenada como lo sugieren Delgado y Núñez (2005) y Delgado y Salas (2006).

Así mismo, el N en los diferentes compartimientos se relacionó al N total del suelo, considerando las tasas de mineralización estimadas en los periodos 0-35, 35-60 y 60-90 días, de manera individual, o agregando (sumando) los compartimientos según su capacidad de suministro de N. Según lo antes indicado, en este estudio se propone la existencia de un compartimiento o pool de N de fácil mineralización (N_pool_fácil), que aporta la mayor proporción de N durante los primeros 60 días, un compartimiento de N de mediana mineralización (N_pool_mediano) y un compartimiento de N de relativa estabilidad (N_pool_estable).

La estimación de la cantidad de N que conforman los diferentes pools o compartimientos de N en los grupos de suelo ACSN y BCSN, se realizó asumiendo (1) que los compartimientos de N se mineralizan simultáneamente pero a diferentes tasas y (2) que la tasa de mineralización del periodo 60-90 días, la cual es la más baja en ACSN y es aproximadamente similar a la observada en todos los periodos en el grupo de suelos BCSN, corresponde a la del pool N_pool_mediano. De esta manera, la estimación del N presente en este compartimiento en los grupos ACSN y BCSN, se obtuvo de la suma del N proveniente de la mineralización en ese compartimiento en cada periodo de corte (0-35, 35-60 y 60-90 días). El N proveniente de la mineralización del compartimiento N_pool_mediano en cada periodo se obtiene del producto de la tasa de mineralización del N_pool_mediano por el periodo del corte (35, 25 y 30 días para los periodos 0-35, 35-60 y 60-90 días respectivamente). Por otra parte, la cantidad de N en el compartimiento N_pool_fácil se obtuvo de la diferencia entre NabsT y N_pool_mediano, mientras que la cantidad de N en el compartimiento N_pool_estable se estimó por diferencia entre NabsT y nitrógeno total del suelo. La cantidad relativa de N_pool_fácil, N_pool_mediano y N_pool_estable en relación al N total del suelo se estima dividiendo estas fracciones entre el N total del suelo.

Los resultados muestran que en el grupo ACSN el compartimiento N_pool_fácil constituye aproximadamente el 22 % del N total del suelo, el compartimiento N_pool_mediano constituye alrededor del 12 %, mientras que N_pool_estable el 66% del N total del suelo, mientras que en el grupo BCSN las fracciones indicadas constituyen alrededor del 0, 16 y 84 %. La proporción de las fracciones N_pool_fácil y N_pool_mediano juntas (34 y 16 % en ACSN y BCSN) están en el mismo orden de magnitud de la proporción de N potencialmente mineralizable (N_o), en relación al N total del suelo indicada por Stanford y Smith (1972) quienes señalan que las mismas varían entre 5 y 41% para una amplia diversidad de suelos.

Relación entre N disponible en el suelo extraído por el cultivo indicador y algunos parámetros del suelo:

Las relaciones entre NabsT y N_KCl, MOS y NT fueron similares a las observadas entre Nabs35 con las mismas variables, posiblemente debido a que una gran proporción del NabsT (entre el 38,3 y 72,5% en BCSN y ACSN, respectivamente) ocurrió en los primeros 35 días. Por esta razón se hará énfasis en el análisis de las relaciones entre el Nabs35 y las variables de suelo.

Considerando todos los suelos de manera conjunta, se observó una estrecha relación entre N_KCl y Nabs35, donde el modelo de regresión cuadrático presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0,848 (Figura 1). La relación entre el N_KCl y NabsT mostró un coeficiente de determinación (R^2) de 0,828; mientras que la relación entre el N_KCl y el Nabs60 y Nabs90 no fue significativa (data no mostrada). En ACSN, por otra parte, se observó una relación significativa entre N_KCl y Nabs35 ($R^2 = 0,75$) y del N_KCl con el NabsT ($R^2 = 0,76$), mientras que en BCSN la relación de N_KCl con Nabs35 y con NabsT fue inferior ($R^2 = 0,41$ y $0,22$ respectivamente). Por otra parte, el promedio de N extraído en KCl en los grupos de suelos ACSN y BCSN fue 101 y 23,4 mg N kg⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). En el caso del grupo BCSN la concentración de N mineral en los diferentes suelos, con la excepción de la observada en el suelo Chaguaramas (42,4 mg N kg⁻¹ suelo), varió entre 13,7 y 29,8 mg N kg⁻¹ suelo, los cuales son valores que se encuentran en el rango de concentración crítica de nitrato (23 a 26 mg N kg⁻¹ suelo) indicados por Binford *et al.* (1992). En nuestro estudio la mayor proporción de N extraído en KCl lo constituye el N en forma de nitrato (datos no mostrados).

En la Figura 2 se muestran las relaciones entre el Nabs35 y la MOS (a), y entre el N absorbido de 35 a 60 días y la MOS (b), considerando todos los suelos de manera conjunta. En ambos casos se detectó una relación cuadrática significativa ($R^2 = 0,52$ y $0,45$ respectivamente) lo que podría sugerir la notable

influencia de la MOS en la suplencia de N, aun hasta los 60 días luego del inicio del estudio. Matus et al. (2000), señalan la relación significativa entre la MOS y la tasa de mineralización. En otros trabajos Fox et al. (1997) encontraron relaciones significativas entre el carbono del suelo y el N mineralizado dos semanas luego del inicio de la incubación ($R^2 = 0,68$) y entre el N total y este N mineralizado ($R^2 = 0,50$), y relaciones significativas con el N mineralizado seis semanas luego del inicio de la incubación ($R^2 = 0,66$ y $0,56$; respectivamente), e indican que la medición del C y N total del suelo son más fáciles y rápidas de determinar que otras variables de suelo.

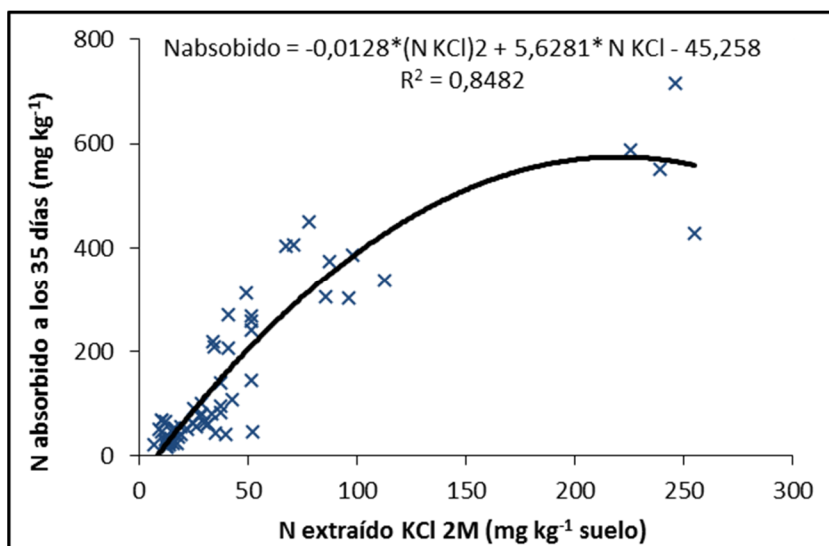


Figura 1. Relación entre N extraíble en KCl y el N absorbido por *Brachiaria brizanta* a los 35 días, utilizando todos los suelos.

Un análisis más detallado, muestra que en el grupo de suelos ACSN, la MOS se relacionó de manera significativa con Nabs35 y con el N absorbido entre 35 y 60 días ($R^2 = 0,37$ y $0,35$ respectivamente), pero no con N absorbido entre 60 y 90 días; mientras que en BCSN sólo se observó relación significativa entre MOS y el Nabs35 ($R^2 = 0,32$). Lo antes indicado sugiere que la capacidad inicial de suministro de N de los suelos, está significativamente influenciada por la MOS y que la influencia de la misma se extiende por más tiempo en el grupo ACSN.

Drinkwater *et al.* (1996) destacan la importancia de interpretar la disponibilidad de N o N mineralizado de manera conjunta con otros parámetros de suelo. La relación entre el Nabs35 y el índice conformado por N_{KCl} y MOS ($MOS \cdot N_{\text{KCl}}$) se indica en la Figura 3(a) para todos los suelos: se observó una estrecha relación entre ambas variables con un coeficiente de determinación de 0,88 el cual es superior al obtenido entre el Nabs35 con MOS y N_{KCl} de manera individual por grupo de suelo. El coeficiente de determinación fue de 0,805 entre Nabs35 y $MOS \cdot N_{\text{KCl}}$ cuando el suelo Arenales, en el cual se observaron los contenidos más elevados de MOS y N_{KCl} , fue descartado del análisis (Figura 3b). La relación entre el NabsT y $MOS \cdot N_{\text{KCl}}$ fue similar a la observada para Nabs35: se obtuvo un coeficiente de determinación de 0,86, cuando se consideraron todos los suelos y de 0,782 cuando se descartó el suelo Arenales del análisis (data no mostrada).

La significativa relación entre la capacidad del suelo de suplir N, medida a través del Nabs35 y $MOS \cdot N_{\text{KCl}}$ de todos los suelos de manera conjunta, sugiere que esta variable ($MOS \cdot N_{\text{KCl}}$) resume el efecto conjunto de dos variables de suelo que normalmente están relacionadas a la suplencia del elemento, pero que utilizadas de manera independiente, en algunos casos presentan limitaciones: en el caso del N mineral inicial (N_{KCl}) debido a su variabilidad en el perfil del suelo asociado a la dinámica del contenido de humedad del suelo y la MOS debido a que en la evaluación de la misma se incluye una gran diversidad de fracciones orgánicas de diferente calidad y facilidad para la mineralización microbiana. Más aun, del análisis en el Cuadro 2, se observa que existen diferencias significativas en la media del índice $MOS \cdot N_{\text{KCl}}$ entre el grupo ACSN (225) y BCSN (31,1), lo que sugiere que la variable $MOS \cdot N_{\text{KCl}}$ podría ser utilizada para calificar o categorizar a un suelo dentro del grupo ACSN o BCSN,

lo que permitiría asignarle al mismo las proporciones del N total que son de fácil, mediana y lenta mineralización, y la fracción estable, estimadas según se ha indicado previamente. En este caso y de manera práctica, se sugiere utilizar la media más la desviación estándar del grupo BCSN (31,1 + 21,5 = 52,6) para definir el límite de $MOS \cdot N_{KCl}$ por debajo del cual un suelo se clasificaría como BCSN y por encima del cual un suelo se clasificaría como ACSN.

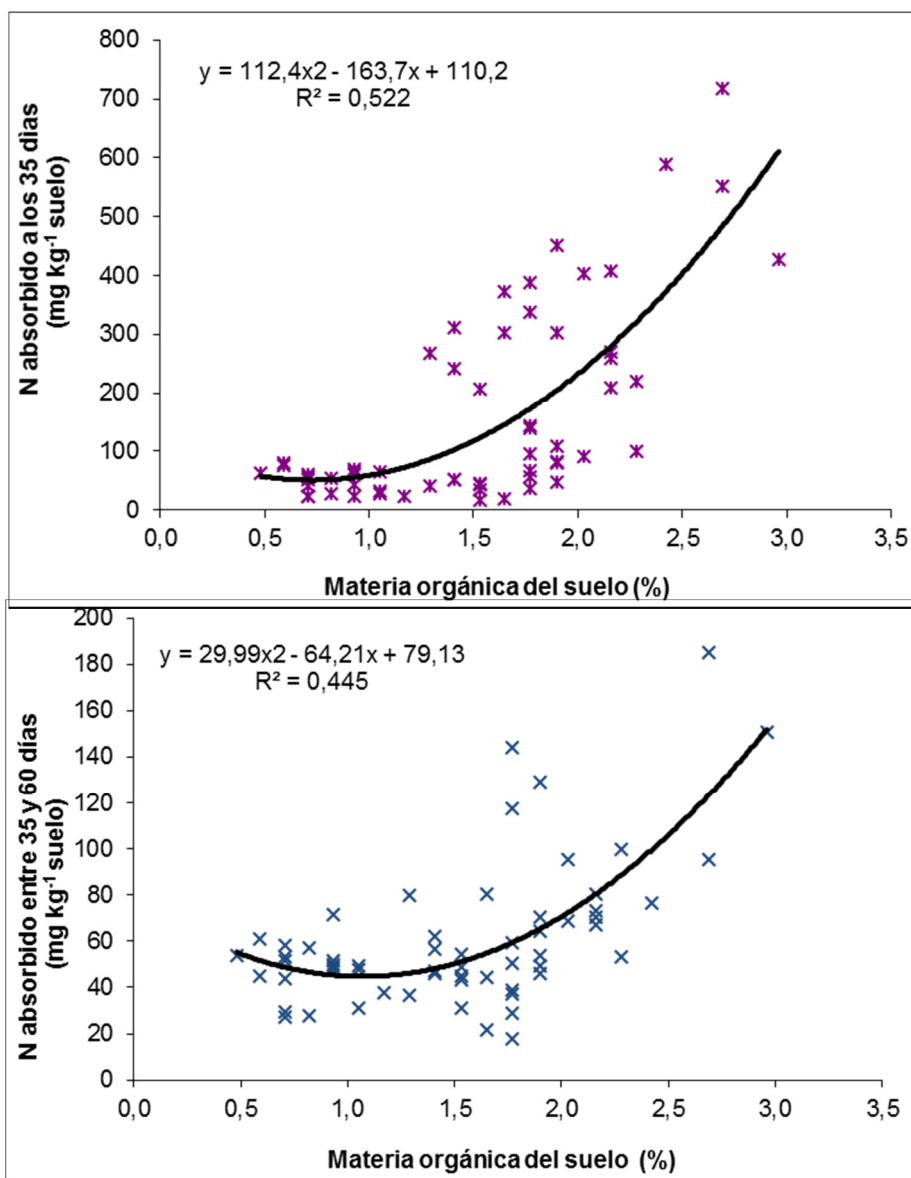


Figura 2. Relación entre el N absorbido a los 35 días (a) y de 35 a 60 días (b), y la materia orgánica del suelo usando todos los suelos evaluados.

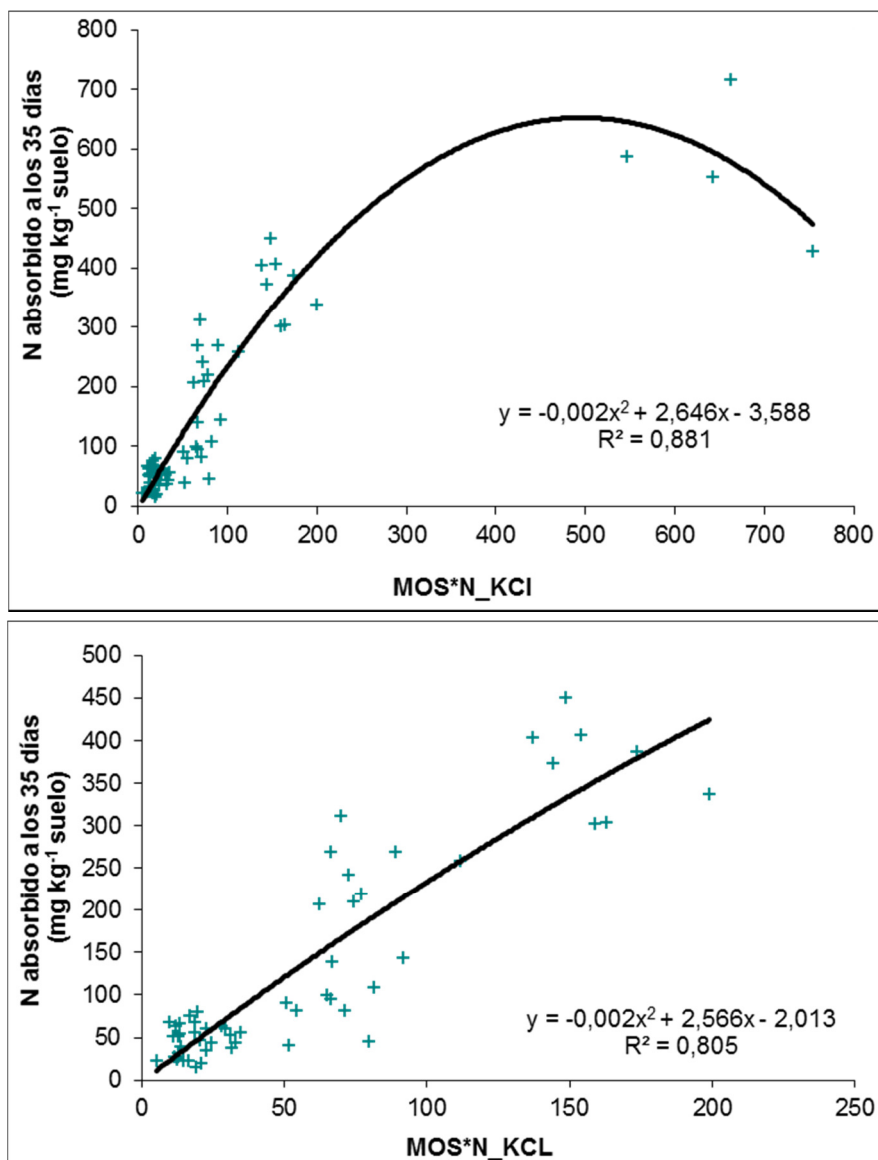


Figura 3. Relación entre el N absorbido a los 35 días y el producto de la materia orgánica y N mineral del suelo, para todos los suelos (a) y cuando el suelo Arenales fue descartado del análisis (b).

Relación entre parámetros de suelo asociados al N disponible:

En la Figura 4 se muestra la estrecha relación ($R^2 = 0,8445$) entre MOS y el contenido de N total en el suelo (NT) para todos los suelos de manera conjunta. Fox *et al.* (1997) observaron una relación significativa entre la concentración de carbono total y N total en suelos de Colorado y Pennsylvania. Esta relación podría permitir la estimación del NT de los suelos a partir de la medición de MOS que es más fácil y económica. La relación entre N_KCI y MOS, y entre N_KCI y NT del suelo no mostró una relación significativa y la misma estuvo marcadamente influenciada por el suelo Arenales, debido a que este suelo presenta los contenidos más elevados de N_KCI e influencia la tendencia de la curva de regresión. La relación C/N fue similar en ambos grupos de suelo y no se observó relación significativa entre esta y otras variables de suelo. El promedio más elevado de C/N en el grupo BCSN (Cuadro 2) está notablemente afectado por los valores elevados observados en los suelos El Tigre, Santa Bárbara e Iguana

arenoso que son suelos con elevada proporción de arena. Es probable que la más elevada relación C/N en el grupo de suelos de BCSN afecte la mineralización del N orgánico del suelo y con ello la suplencia del elemento.

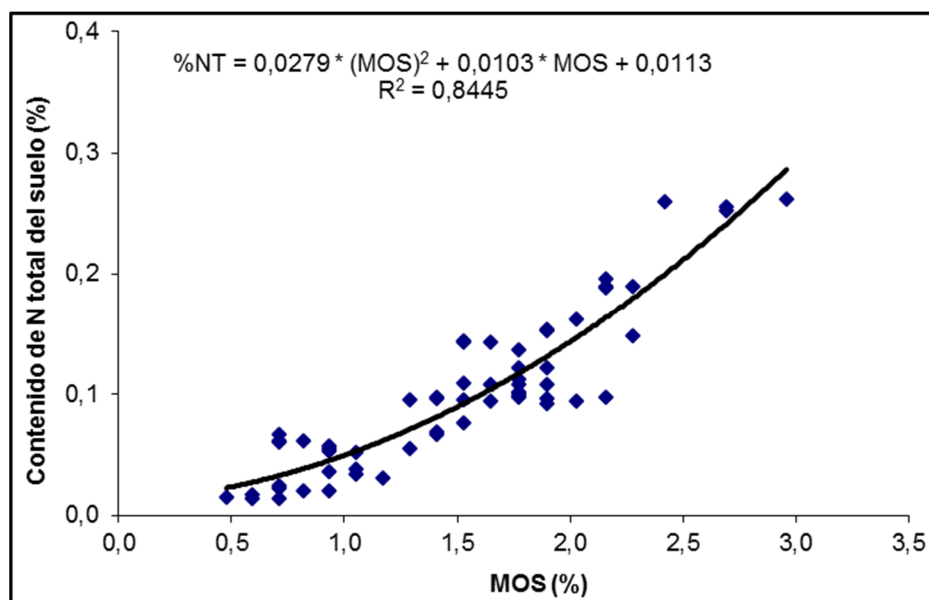


Figura 4. Relación entre el contenido de materia orgánica y N total del suelo utilizando todos los suelos evaluados.

CONCLUSIONES

Se detectaron diferencias entre los suelos en la capacidad de suplencia de N: se destacó un grupo de suelos con alta (ACSN) y otro con baja capacidad de suplencia del elemento (BCSN). El grupo de suelos ACSN presentó contenidos más elevados de N_KCl y MOS que el grupo BCSN.

Existe una relación importante entre MOS, N_KCl y el producto de ambas variables (MOS*N_KCl) con el N disponible total (NabsT) y el disponible a los 35 días (Nabs35) cuando se consideran todos los suelos en conjunto. Utilizando la relación entre Nabs35 y MOS*N_KCl, se puede clasificar o categorizar un suelo dentro ACSN o BCSN, y estimar la proporción del NT de ese suelo que es disponible.

LITERATURA CITADA

- Binford, G., A. Blackmer y M. Cerrato.** 1992. Relationships between corn yields and soil nitrate in late spring. *Agron. J.* Vol. 84: 53-59.
- Bremner, J.** 1965. Inorganic forms of nitrogen. (Ed. C. Black) *Methods of soil analysis*. Part II. ASA, Madison, WI. pp. 1179-1237.
- Bremner, J. y C. Mulvaney.** 1982. Nitrogen total. (Eds. Page *et al.*) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2^{da} ed. *Agronomy*. Vol 9: 595-624.
- Delgado, R.** 2002. Relación entre la respuesta del cultivo maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación de N y la disponibilidad del elemento en el suelo. *Agron. Trop.* Vol. 52: 209-222.
- Delgado, R.** 2001. Respuesta del maíz a la aplicación de nitrógeno y su relación con la disponibilidad del elemento en dos suelos de Venezuela: Producción de materia seca y grano. *Agron. Trop.* Vol. 51: 387-403.
- Delgado, R. y E. Cabrera.** 1998. Evaluación de la capacidad de suministro de nitrógeno en diferentes suelos de Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. Vol. 15 (5): 401-413.
- Delgado, R. y M. Núñez.** 2005. Modelo de simulación para la predicción y evaluación de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. En: *Memorias del XVII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*. Maracay, Venezuela.

- Delgado, R. y A. Salas.** 2006. Consideraciones para el desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agron. Trop.* Vol. 56: 289-323.
- Drinkwater, L., C. Cambardella, J. Reeder y C. Rice.** 1996. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biological active soil nitrogen. *Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication.* Vol. 49: 217-229.
- Fox, R., G. Roth, K. Iversen y W. Pekielek.** 1989. Soil and tissue nitrate test compared for predicting soil nitrogen availability to corn. *Agron. J.* Vol. 81: 971-974.
- Fox, R., D. Westfall y E. Elliott.** 1997. Relationships among soil particulate organic matter, cropping history, soil type, and nitrogen mineralization. Agricultural Experimental station. Department of soil and crop sciences, Natural Resource Ecology Lab., Fort Collins, CO. Technical Report TR97-8. 12 p.
- Gee, G. y J. Bauder.** 1986. Particle-size análisis. (Ed. A. Klute). *Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical methods.* 2^{da} ed. Agronomy. Vol. 9: 383-411.
- Holford, I., J. Holland, A. Good y C. Leckie.** 1997. Yield and protein response to nitrogen, and nitrogen fertilizer requirements of grain sorghum, in relation to soil nitrate levels. *Aust. J. Agric. Res.* Vol. 48: 1187-1197.
- Jarvis, S., E. Stockdale, M. Shepherd y D. Powlson.** 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: Processes and measurement. *Adv. in Agron.* Vol. 57: 187-235.
- Magdoff, F.** 1991. Field nitrogen dynamics: Implications for assessing N availability. *Communication in Soil Sci. Plant Anal.* Vol. 22: 1507-1517.
- Matus, F., G. Maire y R. Christian.** 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasa de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agric. Téc.* Vol. 60 (2): 112-126 [Revista en línea]. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000200003&lng=es&nrm=iso. ISSN 0365-2807. doi: 10.4067/S0365-28072000000200003. [Citado: 01-11-2011].
- Mclean, E.** 1982. Soil and pH and lime requirements. (Eds. Page *et al.*). *Methods of soil Analysis. Part 2.* 2^{da} ed. Agronomy. Vol. 9: 199-224.
- Nelson, D. y L. Sommers.** 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. (Eds. Page *et al.*). *Methods of soil Analysis. Part 2.* 2^{da} ed. Agronomy. Vol. 9: 539-579.
- Stanford, G. y S. Smith.** 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* Vol. 36: 465-472.
- SAS Institute, Inc.** 1998. *Statistical Analysis System. SAS/SAT User's Guide. Versión 7.0.* Cary, NC.
- Von Lutzow, M., I. Kogel, K. Ekschmitt, H. Flessa, G. Guggenberger, E. Matzner y B. Marschner.** 2007. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 39: 2183-2207.
- Warren, G. y D. Whitehead.** 1988. Available soil nitrogen in relation to fractions of soil nitrogen and other soil properties. *Plant and Soil.* Vol. 112: 155-165.