

Evaluación de la capacidad de suministro de nitrógeno en diferentes suelos de Venezuela

Evaluation of nitrogen supply capacity of different soils of Venezuela

R. Delgado¹ y E. Cabrera de Bisbal¹

Resumen

En Venezuela no existen mecanismos apropiados para determinar los requerimientos de N como fertilizante para el cultivo del maíz (*Zea mays*). En el presente estudio se evaluó seis diferentes suelos en la producción de materia seca y el N extraído por el maíz, bajo diferentes dosis de N y se relacionó con parámetros de suelo asociados a la disponibilidad del elemento, un incremento entre un 7% al 76,7% de materia seca en relación al tratamiento sin aplicación de nitrógeno; mientras el N total extraído por el cultivo fluctuó desde 109,0 hasta 392,2 mg/maceta, en el tratamiento sin aplicación de nitrógeno. Con la aplicación de 60 kg N/ha se observó diferentes capacidades de suministro del elemento por los suelos. Los contenidos de N mineral-inicial se correlacionaron significativamente ($r = 0,851$ y $0,844$) con el N extraído por las plantas y la materia seca producida y los modelos de regresión que incluyen este parámetro y la materia orgánica del suelo explican ($r^2 = 0,875$) el N total extraído por el cultivo.

Palabras claves: Nitrógeno, capacidad de suministro de N, maíz.

Abstract

In Venezuela there is no methodology to know the soil supply capacity of nitrogen in order to give proper fertilization recommendations. In this study with six different soils of Venezuela, the maize (*Zea mays*) response (dry matter yield and N uptake) to different N rates was evaluated and related to different N soil supply capacity indexes. The results show that with 60 N kg/ha the dry matter yield increased, compared to the treatment without fertilizer, between 7% and 76.7% and, the N uptake by the crop in the treatment without fertilizer was between 109.0 mg and 397.2 mg/pot. With the N supply indexes, it was observed that the initial mineral N, was significantly correlated ($r = 0.851$ and 0.844) with the N uptake and the dry matter yield. The regression model which included the

Recibido el 14-11-1996 ● Aceptado el 29-04-1997

1. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Instituto de Investigaciones en Recursos Agroecológicos, Area Universitaria, Edificio 1, Apartado Postal 4653, Maracay AR 2101, Venezuela. e-mail: iira@reacciun.ve

initial mineral N and the organic matter are the best ($r^2 = 0.875$) to explain the N uptake by the crop.

Key words: Nitrogen, N supply capacity, maize, *Zea mays*.

Introducción

Es bien conocido que la respuesta de los cultivos a la aplicación de elementos minerales para su nutrición, mediante fertilizantes químicos y/o orgánicos, está sujeta a que en el suelo existan o no cantidades significativas de los mismos. En este sentido la respuesta del cultivo maíz, a la aplicación de nitrógeno ha arrojado resultados diversos, no permitiendo la obtención de modelos apropiados que permita la estimación adecuada de la cantidad de fertilizante nitrogenado que debe ser aplicado.

Diversas son las investigaciones que han destacado la complejidad de los factores que afectan la disponibilidad del nitrógeno en el suelo, así Meisinger (14) propone un modelo para predecir requerimientos de fertilizantes nitrogenados considerando, entre otros factores, los requerimientos del cultivo, disponibilidad de nitrógeno proveniente de las formas minerales y orgánicas del suelo, eficiencia de uso del nitrógeno aplicado y del disponible en el suelo. Otros trabajos, como los realizados por Bundy y Malone (7), Hergert (12) y Binford *et. al.* (4), han destacado la importancia de un factor especial como lo es el contenido de $N-NO_3$ del suelo, que puede definir la disponibilidad y requerimiento de este elemento.

Lo antes indicado refleja que,

según sea la condición del suelo en relación a los contenidos de materia orgánica, niveles de nitrógeno inorgánico, condiciones físicas-químicas, características texturales y estructurales y la condición de manejo a la cual ha sido sometido el sistema agrícola, serán los factores que definirán el "status" de disponibilidad del elemento en el suelo, para la nutrición de los cultivos.

Estudios realizados por Barberis (1), en suelos de Argentina, evidencian la condición de manejo del sistema agrícola. Con la siembra de leguminosas o condición de barbecho como cultivo previo a la siembra de maíz, el modelo de respuesta a la aplicación de nitrógeno fue diferente.

Por otra parte Buchholz (6) establece relación entre el contenido de materia orgánica del suelo, la textura del suelo y la capacidad de intercambio catiónico en un modelo de recomendación para el establecimiento de la dosis de nitrógeno y aún más, establece correcciones en la misma si el cultivo anterior ha sido una leguminosa.

En otros estudios Warren y Whitehead (20), evaluando la capacidad de suministro de nitrógeno de diferentes suelos, determinaron que el mismo era explicado en mayor grado por el N-mineral inicial del suelo y el nitrógeno proveniente de la macro-

materia orgánica del suelo.

De lo señalado anteriormente se destaca que la disponibilidad de nitrógeno está definida por diversos factores según sea la condición de manejo de los sistemas agrícolas y/o las características físico/químicas del suelo. En este sentido se deben orientar investigaciones para determinar los parámetros más importantes, según las condiciones en las cuales se está desarrollando las actividades agrícolas, que determinan la disponibilidad del elemento.

El presente estudio corresponde

a una evaluación preliminar, empleando diversos suelos de Venezuela, de la respuesta del cultivo maíz a la aplicación de Nitrógeno y su relación con la capacidad de suministro del elemento por el suelo, evaluada esta última mediante diversos índices.

En este estudio preliminar, se evalúa la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de nitrógeno y su relación con la capacidad de suministro del elemento por el suelo, mediante diversos índices, en varios suelos de Venezuela.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en laboratorio e invernadero empleando seis suelos de Venezuela que presentan diferentes características físico/

químicas, los cuales luego de colectados, fueron secados al aire y tamizados a 5 mm. En el cuadro 1, se presentan las características

Cuadro 1. Clasificación y características físico-química generales de los suelos estudiados.

Suelo	Clasificación	Ubicación	MO (%)	pH	^{1/} TXT	NM
Sn.Carlos I	Fluventic	San Carlos	1,20	8,3	Fa	24,8
	Haplustolls	Cojedes				
Sn.Carlos II	Fluventic	San Carlos	3,58	6,3	A	17,5
	Haplustolls	Cojedes				
El Pao	Typic	El Pao	1,44	5,9	Fa	41,4
	Paleustults	Cojedes				
Tucutunemo	Typic	La Villa	2,19	6,8	FAa	18,4
	Haplustolls	Aragua				
Arenales	Fluventic	Magdaleno	3,0	8,1	A	154,4
	Haplustolls	Aragua				
CENIAP	Fluventic	Maracay	2,32	6,8	F	31,5
	Haplustolls	Aragua				

^{1/} Clasificación textural. TXT: Textura. NM: N-Mineral (NO₃ + NH₄)-N, (mg g⁻¹)

principales de los suelos evaluados.

Con un ensayo de invernadero se evaluó la respuesta del cultivo maíz, híbrido CENIA PB-8, a la aplicación del equivalente a 0,60 y 120 kg N/ha, manteniendo los niveles de P, K y microelementos en niveles de suficiencia mediante la aplicación de solución nutritiva como lo sugiere Chien y Hammond (9). El estudio se realizó en potes plásticos donde se colocó 2 kg del suelo tamizado a 5 mm, manteniendo tres replicaciones por tratamiento, colocados de manera aleatoria y manteniendo 3 plantas por pote. El suelo se mantuvo con contenidos de humedad equivalentes a capacidad de campo durante el período de evaluación. A los 35 días luego de la siembra se cosecharon las plantas a raz del suelo determinándose la producción de materia seca. En la misma se determinó el N total en el tejido por Kjehdahl según lo indica Salinas y García (17), para realizar la estimación del nitrógeno total extraído por las plantas, como una medida del nitrógeno disponible.

En el laboratorio se realizó la medición de variables de suelo, para establecer los índices de disponibilidad de N, se utilizaron muestras de suelo similares a las usadas en el ensayo de invernadero:

1) Se determinó el contenido de $N-NO_3$ y $N-NH_4$ en el suelo seco inicial, mediante el empleo del extracto KCl (2M) como lo indica Bremmer (5). 2) La macro materia orgánica según lo indica Barley (2). 3) Distribución del tamaño de agregados según Pla (16). 4) Contenidos de $N-NO_3$ y $N-N_4$ luego de 20 días de incubación como lo señala Warren y Whithead (20). 5) Contenido de arcilla, materia orgánica por Walker y Black modificado, como indica Gilabert *et al.* (11).

El análisis estadístico para la variable de la producción de materia seca de maíz en los diferentes suelos evaluados y de la relación de ésta con los índices de disponibilidad del elemento, se realizó a través de análisis de regresión múltiple lineal y de correlación (15, 19).

Resultados y discusión

En el cuadro 2, se presentan la materia seca producida y nitrógeno total extraído en la misma, para cada uno de los suelos y tratamientos evaluados. Se puede indicar que en todos los suelos, a excepción de Arenales, existe respuesta del cultivo maíz a la aplicación de nitrógeno: a mayor aplicación de nitrógeno mayor producción de materia seca y N-total extraído.

Sin embargo, en todos los casos el incremento más pronunciado en la producción de materia seca y de nitrógeno extraído, en relación al testigo sin fertilizar, ocurrió con la aplicación de 60 kg N/ha, fluctuando entre 76,7% en el suelo San Carlos I y 7% en el suelo Arenales para la materia seca producida y entre 98,9% en el suelo San Carlos I y -2,39% en el suelo Arenales para el nitrógeno extraído. De

Cuadro 2. Producción de materia seca y nitrógeno total extraído en los diferentes suelos estudiados.

Suelo	Trat. (kg N ha ⁻¹)	M. Seca (g pote ⁻¹)	Incremento Relativo M. Seca(%)	N-Total Extraído (mg/ pote ⁻¹)	Incremento Relativo N-Total Extr. (%)
Sn. Carlos I	0	3,31 ^h _{1/}	-	109,0 ^g	-
	60	5,85 ^f	76,7	216,8 ^f	98,9
	120	7,48 ^{df}	125,9	276,2 ^d	153,4
Sn. Carlos II	0	6,79 ^f	-	276,1 ^d	-
	60	8,08 ^b	18,9	370,4 ^b	34,2
	120	9,20 ^e	35,5	368,8 ^b	33,6
El Pao	0	7,95 ^d	-	289,2 ^{cd}	-
	60	9,93 ^{bc}	24,9	405,7 ^{ab}	40,3
	120	10,66 ^{ab}	34,1	438,7 ^a	51,7
Tucutunemo	0	4,86 ^g	-	163,9 ^f	-
	60	7,78 ^d	60,0	282,0 ^d	72,1
	120	9,12 ^c	87,6	322,9 ^c	97,0
Arenales	0	10,37 ^{ab}	-	397,2 ^b	-
	60	11,10 ^a	7,0	387,7 ^b	-2,39
	120	11,25 ^a	8,5	436,9 ^a	9,99
Ceniap	0	5,67 ^{ef}	-	195,2 ^{ef}	-
	60	7,86 ^d	38,6	274,9 ^d	40,8
	120	9,29 ^c	63,8	364,6 ^b	86,8

_{1/} Valores con similares letras no se diferencian significativamente (P < 0,05). _{2/} Incremento relativo en base al tratamiento sin fertilizar

_{3/} Incremento relativo en base al tratamiento con 60 kg N/ha.

lo antes señalado se destaca que la respuesta del cultivo maíz a la aplicación de nitrógeno es diferente en cada suelo, señalando diferente capacidad de suministro del elemento por los mismos.

Es importante mencionar que los suelos Tucutunemo, San Carlos I y el CENIAP, con la aplicación de 60 kg N ha⁻¹ y de 120 kg N ha⁻¹, presentaron los mayores incrementos de materia seca y de N extraído, en relación al testigo de cada suelo, contrario a lo observado en el suelo Arenales en donde se observó el menor incremento. Es posible que en el primer caso la suplencia de nitrógeno por parte del suelo, proveniente de la mineralización de las formas orgánicas y del N-mineral, es menos significativo ($P < 0,05$) en la suplencia de los requerimientos del cultivo y de allí que responda de manera significativa a la aplicación del N como fertilizante. En el cuadro 1 se observa que el N-mineral para estos suelos fluctuó entre 18,4 mg kg⁻¹ en el suelo de Tucutunemo hasta 31,5 mg kg⁻¹ en el suelo de CENIAP, en el horizonte entre 0 y 30 cm considerado por Binford *et. al.* (4) como el límite por debajo del cual se esperaría que hubiese respuesta del cultivo a la aplicación del elemento.

Llama la atención que el suelo San Carlos II con contenidos de N mineral inferior a los indicados para los suelos Tucutunemo, San Carlos I y CENIAP, como se puede observar en el cuadro 1, no respondió de manera significativa a la aplicación del elemento, sugiriendo la existencia de otros parámetros de disponibilidad asociados. El suelo Arenales por otra

parte, presentó los niveles de nitrógeno mineral y materia orgánica más elevado, como se puede observar en el cuadro 1, el N mineral fue de 154,4 mg kg⁻¹ superior al límite de no respuesta indicado anteriormente y justamente presentó la menor respuesta a la aplicación de nitrógeno.

Un análisis conjunto de la materia seca producida y el N-total extraído en la misma, en función de los niveles de materia orgánica del suelo y el nitrógeno mineral inicial parece indicar que, de manera independiente, ninguno de estos parámetros explica por sí solo la respuesta del cultivo a la aplicación de nitrógeno, siendo necesaria la concurrencia de ambos para dar una mejor explicación. En este sentido, se observa que el suelo Arenales y San Carlos II presentan niveles de materia orgánica elevado y la respuesta a la aplicación de nitrógeno en ellos no es significativa, aunque entre estos dos suelos existe la diferencia que, el suelo Arenales presenta entre todos los suelos evaluados, el nivel mayor de N-mineral inicial y el San Carlos II el nivel más bajo. Es posible que en el primer caso el N-mineral del suelo pudo suplir los requerimientos del cultivo y en el segundo caso, el mismo proviene de la mineralización del N orgánico. De los otros suelos es importante destacar que el suelo San Carlos I presenta el mayor incremento relativo con la aplicación de 60 kg N/ha y 120 kg N ha⁻¹, siendo el suelo que presentó el nivel de materia orgánica y los contenidos de nitrógeno mineral más bajos. Contrariamente el suelo El Pao presentó niveles de materia orgánica

bajas, muy similar al suelo San Carlos I, pero el nivel del N-mineral inicial es hasta 1,7 veces más elevado que éste, de allí que la respuesta a la aplicación de nitrógeno en este suelo no sea tan espectacular como el observado en el suelo San Carlos I. Lo antes señalado sugiere que el N-mineral inicial contribuyó notablemente en la nutrición del cultivo y afectó la respuesta del cultivo a la aplicación del elemento.

Por otra parte sugiere que existe relación entre los contenidos de nitrógeno mineral inicial del suelo y de la materia orgánica del mismo, con la respuesta del cultivo a la aplicación del nitrógeno coincidiendo con lo señalado por Binford *et al.* (4), quien indica la importancia de los contenidos de N-NO₃ de la capa superficial. En ese sentido, en el cuadro 3 se presentan los contenidos de N-mineral extraído

en KCl (2M) 20 días luego de incubación, en los suelos evaluados fertilizados con la aplicación del equivalente a 120 kg N/ha y sin la aplicación de éste. Se aprecia que, con el solo proceso de humedecimiento del suelo, los niveles de nitrógeno mineral se incrementaron entre 3,92 y 77,28 mg kg⁻¹ en los diferentes suelos evaluados, a excepción del suelo El Pao en donde es posible que ocurra inmovilización microbiana y/o pérdida del elemento por volatilización o desnitrificación. Por otra parte, cuando el suelo se fertilizó y se humedeció, el incremento fue ligeramente superior al observado con el solo humedecimiento, aunque en general se encuentran en el mismo orden sugiriendo que la aplicación de nitrógeno no afectó la mineralización del N-orgánico, contrario a lo indicado por Jenkinson *et al.* (13), quien destaca

Cuadro 3. Contenido de N-mineral en los suelos incubados por 20 días con fertilización y sin fertilización.

Suelo	N-inicial suelo-seco	Cantidad N-aplicado	N 20 días después incubación	Efecto Humedec.	Efecto Humedec. + Aplicac.
----- mg kg ⁻¹ -----					
Sn.Carlos I	14,6	40,29	39,82	+3,92	-15,07
		0,0	18,52	-	-
Sn.Carlos II	53,80	43,23	117,44	-	+80,41
		0,0	124,18	+70,38	-
El Pao	37,73	42,61	81,19	-	+0,85
		0,0	32,77	-4,96	-
Tucutunemo	24,50	40,58	126,95	-	+61,87
		0,0	81,59	+57,09	-
Arenales	148,60	46,35	306,37	-	+75,42
		0,0	261,88	+77,28	-
CENIAP	60,63	42,96	150,35	-	+46,76
		0,0	103,97	+43,34	-

el efecto priming como un factor importante en la mineralización del N orgánico cuando se aplica una fuente nitrogenada. En este sentido, es necesario que los estudios se prolonguen por períodos más largos de tiempo para detectar el incremento de la mineralización del N orgánico debido al incremento de la actividad microbiana, como lo sugiere Delgado (10).

De los resultados obtenidos se deduce que en los suelos El Pao y San Carlos I la materia orgánica del suelo, la cual fluctuó entre 1,2 y 1,44% parece no contribuir significativamente al "pool" de nitrógeno disponible del suelo, el aporte de N por humedecimiento y fertilización nitrogenada estuvo sólo en el orden de 3,92 mg kg⁻¹ con inmovilización de hasta -15,07 mg kg⁻¹. Por el contrario en los otros suelos el aporte de N por esta vía es más significativo, desde 80,41 a 43,34 mg kg⁻¹.

En el cuadro 4, se presenta la distribución del tamaño de agregados y la macro-materia orgánica en los diferentes suelos evaluados. Es interesante destacar que los suelos Arenales y San Carlos II, ambos de textura arcillosa y materia orgánica superior a 3% (cuadro 1), presentan una distribución de los agregados muy diferentes. En el suelo Arenales la mayor parte se encuentra en las fracciones intermedias y finas y en el suelo San Carlos II en las fracciones más gruesas debido posiblemente al manejo al cual es sometido cada uno ya que el suelo San Carlos II se encuentra cultivado con pasto desde hace aproximadamente 10-15 años y el suelo Arenales está sometido a la siembra de cultivos anuales con la incorporación de residuos durante largo tiempo. Es probable que los elevados niveles de N-mineral detectados en el suelo Arenales 154,4 mg kg⁻¹ (cuadro 1), sea producto de la aplicación de fertilizantes nitrogenados o de la

Cuadro 4. Distribución del tamaño de agregados y contenidos de macro materia orgánica en los suelos estudiados.

Suelo	Tamaño Agregado ^{-1/}					Macro materia Orgánica, mg
	1	2	3	4	5	
Sn, Carlos I	2,23	2,11	3,9	14,27	44,3 ^{-2/}	1.832,0 ^{bcd} _{3-4/}
Sn, Carlos II	34,10	12,57	7,62	5,08	10,99	376,0 ^a
El Pao	16,69	8,96	10,24	20,95	33,87	169,2 ⁻¹
Tucutunemo	17,79	26,07	22,65	12,76	9,72	135,6 ^d
Arenales	7,33	8,06	14,55	20,26	34,14	279,0 ^f
CENIAP	13,55	8,59	9,78	8,29	33,84	260,0 ^{f-c}

^{-1/} 1: 2 mm - 5 mm. 2: 850 micra - 2 mm. ^{-2/} Valor promedio 4 replicaciones. 3: 42⁵ micra - 850 micra. ^{-3/} Valor promedio 5 replicaciones. 4: 250 micra - 425 micra. ^{-4/} Valor con similares letras no se diferencian (P<0,05): 75 micra - 250 micra.

mineralización de la materia orgánica del suelo, la cual se encuentra más propensa a la acción de la actividad microbiana por presentar mayor superficie expuesta como se puede deducir de la mayor cantidad de microagregados. Por otra parte, se puede pensar que en el suelo San Carlos II, la mayor cantidad de microagregados no permite que la materia orgánica este expuesta fácilmente a la acción microbiana, ocurre protección física y/o oclusión de la misma, de allí que su mineralización no contribuye notablemente en el suministro de N para las plantas. Lo antes indicado coincide con lo sugerido por Cambardella y Elliot (8) y Beare *et al.* (3) quienes han señalado que la materia orgánica contenida en los macroagregados puede estar protegida, ocluida y no es accesible a la acción microbiana, aunque puede estar enriquecida en nitrógeno y carbono disponible.

En relación a los suelos San Carlos I, CENIAP y El Pao, se apreció como se observa en el Cuadro 4 que presentan tendencia a tener mayor cantidad de agregados pequeños contrario de lo observado en el suelo Tucutunemo donde se observa mayor proporción en los agregados de tamaño intermedio. Aún es necesario establecer relación entre los contenidos de materia orgánica de cada fracción de agregados y la materia orgánica del suelo total y entre la materia orgánica de cada fracción y la disponibilidad de nitrógeno.

En relación a la macro-materia orgánica, los niveles mayores se

encontraron en los suelos San Carlos II, seguido de Arenales, CENIAP, San Carlos I, observándose los niveles más bajos entre los suelos El Pao y Tucutunemo. Lo antes señalado parece tener relación con los niveles de materia orgánica del suelo, es decir a mayor contenido de estos parece existir mayores niveles de macro-materia orgánica del suelo. En relación a los altos contenidos de macro-materia orgánica en el suelo San Carlos II, es posible que sea debido a que estos suelos están sembrados con pastizales desde hace aproximadamente 15 años, permitiendo la acumulación de ésta sobre la superficie del suelo, sin incorporación en el mismo. Por otra parte, el suelo Arenales ha sido sometido a la incorporación de residuos orgánicos, incluyendo los residuos de cosecha, promoviendo el incremento de la macro materia orgánica.

Aunque sólo se trata de un estudio preliminar, se pueden establecer algunas relaciones funcionales que permitan orientar las investigaciones futuras. En este sentido, para establecer la relación funcional entre la materia seca producida y del N extraído en la misma, con las diversas variables de suelo, sólo se empleó la información de los tratamientos con 0 kg N/ha de manera de evaluar la capacidad de suministro de nitrógeno del suelo.

En el cuadro 5, se presentan los coeficientes de correlación y la significancia estadística de las mismas, entre las diferentes variables de suelo evaluados y entre éstas y la materia seca producida y N total extraído. Se observó que existe diferencias

Cuadro 5. Matriz de correlación entre las diversas variables evaluadas.

	N-Total extraído Planta	Materia seca Producción suelo	Macro materia orgánica	N-20 DDS	N- inicial	% arcilla	% materia orgánica
2	-	0,9947**	0,4258 ^{NS}	0,7597 ^{NS}	0,8510*	0,6685 ^{NS}	0,7102 ^{NS}
3	-	-	0,3851 ^{NS}	0,7596 ^{NS}	0,8443*	0,6528 ^{NS}	0,7063 ^{NS}
9	-	-	-	0,5456 ^{NS}	0,4350 ^{NS}	0,7313 ^{NS}	0,6495 ^{NS}
10	-	-	-	-	0,9495**	0,9079*	0,5141 ^{NS}
11	-	-	-	-	-	0,7709 ^{NS}	0,4204 ^{NS}
14	-	-	-	-	-	-	0,7217 ^{NS}
16	-	-	-	-	-	-	-

_1/ DDS días de incubación. NS no significativo. * Significativo (P≤ 0,05). ** Significativo (P<0.01).

Cuadro 6. Parámetros de los modelos de regresión lineal simple y múltiple.

Variable incluida en el modelo	Intercepto	Coefficiente de regresión	R ²	R ² adj	R Mult.	Significación de la regresión
N- Inicial	0,144307	1,3781 e ⁻⁰⁰¹	0,725	0,541	0,851	0,145
Arcilla		2,0629 e ⁻⁰⁰¹				
Arcilla	-0,001182	2,1865 e ⁻⁰⁰³	0,555	0,259	0,745	0,297
% M.O.		6,0957 e ⁻⁰⁰²				
N-20 DDI	0,011686	6,3553 e ⁻⁰⁰¹	0,716	0,527	0,846	0,151
% M.O.		5,5724 e ⁻⁰⁰²				
N-Inicial	0,147867	1,4175 e ⁻⁰⁰³	0,724	0,655	0,851	0,032
N-20 DDI	0,143209	9,0021 e ⁻⁰⁰¹	0,577	0,471	0,760	0,080
N-20 DDI	0,159611	-5,8115 e ⁻⁰⁰¹	0,748	0,580	0,865	0,127
N-Inicial		2,1932 e ⁻⁰⁰³				
Macro - M.O.	0,122932	-1,5835 e ⁻⁰⁰¹	0,455	0,092	0,675	0,402
Arcilla		5,1568 e ⁻⁰⁰¹				
N-Inicial	0,009990	1,1177 e ⁻⁰⁰³	0,875	0,792	0,935	0,044
% M.O.		5,4903 e ⁻⁰⁰²				
Arcilla	0,105345	4,4905 e ⁻⁰⁰³	0,447	0,309	0,669	0,147
Materia orgánica	0,023341	9,1089 e ⁻⁰⁰²	0,504	0,380	0,710	0,114

significativas ($P < 0,05$) entre el N-total extraído y la producción de materia seca lo que indica que aparentemente no hubo otros factores limitantes en la producción de esta última. En relación a las correlaciones entre las variables de suelo y cultivo, es evidente la correlación significativa entre el contenido de nitrógeno mineral inicial del suelo, extraído en KCl (2M) y el N extraído por el cultivo y la materia seca producida, el coeficiente de correlación fue 0,851 y 0,844 respectivamente. Las otras variables no se correlacionaron significativamente con el N total extraído o materia seca producida, aunque parece existir relación entre éstas

especialmente con la materia orgánica y los contenidos de N mineral 20 días después de incubación.

En el cuadro 6, se presentan los parámetros de los modelos de Regresión Lineal Simple y Múltiple obtenidos, manteniendo el N extraído por el cultivo como variable dependiente y las variables de suelo como variables independientes. De los resultados obtenidos se aprecia que el modelo de regresión que incluye sólo el N mineral inicial ($r^2 = 0,724$) y el modelo que incluye el N mineral inicial conjuntamente con la materia orgánica ($r^2 = 0,875$), explican significativamente ($P \leq 0,05$) el comportamiento del N total extraído.

Conclusiones

De los resultados obtenidos se observó que el cultivo maíz respondió de manera diferente en cada suelo, a la aplicación de nitrógeno y ello está relacionado con la capacidad de suministro de nitrógeno por cada suelo.

De las variables evaluadas el contenido de N mineral inicial y la materia orgánica explican gran parte de la variación del N total extraído por las plantas. La respuesta del cultivo a la aplicación de nitrógeno fertilizante denotó que en los suelos donde hubo mayor incremento relativo de materia seca y del N-total extraído, fue en los suelos con menores contenidos iniciales de N-mineral y materia orgánica.

Los suelos Arenales y San Carlos II, los cuales presentaron textura similar y contenidos de materia orgánica más elevados, mostraron comporta-

miento diferente en relación a la capacidad de suministro de N y la respuesta a la aplicación del elemento, denotando que existen diferencias en otras características del suelo que definen el "status" de disponibilidad del nitrógeno. En este sentido, es posible que la distribución del tamaño de agregados, esté afectando la superficie de exposición de la materia orgánica del suelo, afectando su mineralización por la actividad microbiana y por supuesto, los contenidos de N mineral en el suelo, los cuales se observaron que eran más elevados en el suelo Arenales, 154 mg kg^{-1} en comparación al suelo San Carlos II donde sólo alcanzaron $17,5 \text{ mg kg}^{-1}$

En general, existe evidencia para creer que es posible obtener algunos parámetros del suelo que permitan

determinar la disponibilidad de nitrógeno y establecer recomendación de fertilizantes nitrogenados, por supuesto, asociado a otros factores de suelo, clima, condiciones de manejo, etc. En este sentido es conveniente

continuar con estos estudios empleando un mayor número de suelos con diferentes condiciones de materia orgánica, textura, condiciones de manejo, etc., de diferentes regiones de Venezuela.

Literatura citada

1. Barberis, I. 1983. Análisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la rampa ondulada y su predicción. En: X Congreso Argentino y VII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar de Plata. Argentina.
2. Barley, K.P. 1955. The determination of macro-organic matter in soils. *Agron. J.* 47:145-147.
3. Beare, M.H., M.I. Cabrera, P.F. Hendrix and D.C. Coleman. 1994. Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 58:787-795.
4. Binford, G., A. Blanckner and M. Cerrato. 1992. Relationships between corn yield and soil nitrate in late spring. *Agro. J.* 84: 53-59.
5. Bremner, J. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black, C. (ed). *Methods of Soil Analysis*. p. 1179-1237. Part. II American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin USA.
6. Buchholz, D. 1987. *Soil Test Interpretations and Recommendations Handbook*. Department of Agronomy. College of Agriculture. University of Missouri-USA.
7. Bundy, I. and E. Malone. 1988. Effect of Residual Profile Nitrate on Corn Response to Applied Nitrogen. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 52: 1377-1383.
8. Cambardella, C.A. and F.T. Elliott. 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:123-130.
9. Chien, S. and G.I. Hammond. 1989. Agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rock as influenced by soil phosphorus-fixing capacity. *Plant and Soil.* 120:159-164.
10. Delgado, R. 1995. Evaluación de la mineralización del N orgánico en un Mollisol del Edo. Aragua mediante el método de incubación In Situ y el N absorbido por el cultivo. *Agron. Tropical.* (en prensa).
11. Gilabert de Brito, J., I. López de Rojas y R. Pérez de Roberti. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Serie D-26. Maracay-CENIAP, FONAIAP. Edo. Aragua. Venezuela.
12. Hergert, G. 1987. Status of Soil Residual Nitrate-Nitrogen Soil test in The United States of America. In: Brown, J.R. (Ed). *Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation*. SSSA, Special Publication Number 21, Madison, Wisconsin-USA.
13. Jenkinson, D., R. Fox and J. Rayner. 1985. Interaction Between Fertilizer Nitrogen and Soil-Nitrogen, the so-called "Priming effect". *Journal of Soil Science* 36:425-444.
14. Meisinger, J. 1984. Evaluating Plant-Available Nitrogen in Soil-Crop Systems. In: Hauch, R. (Ed). *Nitrogen in Crop Production*. A.S.A. Madison, Wisconsin-USA.
15. Mstatc. 1989. Development team. Michigan State University. Michigan State, USA.
16. Pla Sentis, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance.

- Revista de la Facultad de Agronomía de la UCV. Maracay, Venezuela.
17. Salinas, J. y R. García. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. CIAT. Cali, Colombia. pp. 1-79.
 18. Steel R.G.D. and J. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. New York.
 19. Steel and Torrie. 1992. Bioestadística. Principio y Procedimientos. 2ed. McGraw-Hill. México.
 20. Warren, G.P. and D.C. Whitehead. 1988. Available soil Nitrogen in Relation to Fractions of soil Nitrogen and other soil properties. Plant and Soil. 112:155-165.