

COLOCACIÓN DEL NITRÓGENO EN EL SUELO Y LA EFICIENCIA DE USO POR EL MAÍZ¹

Rodolfo Delgado *, Ricardo Ramírez *y Segundo Urquiaga **

1 Trabajo financiado por el CONICIT bajo subvención 51-2281.

* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
Instituto de Investigaciones en Recursos Agroecológicos. apdo. 4653.
Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela. E-mail: ricardopau@icnet.com.ve

** Investigador. EMBRAPA. Centro de Agrobiología. km 47, Antiga Rodovia Rio - São
Paulo, Seropédica 23851-970. Itaguaí, Rio de Janeiro-Brasil.
RECIBIDO: diciembre 15, 2000.

RESUMEN

La forma de colocación del fertilizante nitrogenado normalmente afecta la eficiencia de utilización del elemento. En este estudio se evaluó la forma de colocación de 120 kg N ha⁻¹ (urea): 1) aplicación al voleo e incorporación con rastra, 2) aplicación al voleo e incorporación con arado de disco, 3) aplicación en banda, y 4) sin fertilización en la producción de grano (PG), materia seca (MS) y N absorbido por maíz, en un Fluventic Haplustolls de San Carlos, estado Cojedes. La eficiencia de utilización del N fertilizante se midió por el método isotópico (N¹⁵) y el método indirecto (N extraído por plantas fertilizadas y no fertilizadas). Para la evaluación por el método isotópico la urea normal fue sustituida por urea con N¹⁵ 5 al 3% Exc. También se relacionó los contenidos de N mineral del suelo con la respuesta del maíz a la forma de aplicación del elemento. No se encontró diferencias significativas en la PG, MS, y N extraído por el cultivo entre los tratamientos fertilizados, aunque sí entre algunos de estos y el tratamiento sin fertilizar. La baja eficiencia de utilización de N fertilizante medida por el método directo (18,8-23,7%), sugiere un elevado porcentaje de suministro de N por el suelo, y ello pudo afectar la respuesta del cultivo a la forma de colocación del fertilizante. El alto grado de eficiencia en la utilización del fertilizante, determinado por las formas 2 y 3, sugieren una mayor absorción de N del suelo por las plantas fertilizadas que por las plantas no fertilizadas.

Palabras Claves: *Zea mays*; métodos isotópicos; métodos de aplicación del fertilizante; absorción de nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela los criterios de recomendación de dosis de N no están basados en mecanismos que consideren la relación suelo-cultivo y su manejo. Lo antes indicado conduce, en algunos casos, a que se empleen dosis de N

en exceso o en defecto, lo cual incide negativamente sobre la productividad de los cultivos, los costos de producción y la calidad de las fuentes de agua.

En otros países se han realizado esfuerzos para la búsqueda de mecanismos para recomendar dosis apropiadas de N para un determinado cultivo. En este sentido Meisinger

(1984) señala que para recomendar dosis apropiadas de N se debería considerar: 1) el aporte de N proveniente de la mineralización del N orgánico y de las formas minerales del elemento en el suelo; 2) el N potencialmente requerido por el cultivo, según las condiciones edafo-climáticas y el potencial genético del cultivo; 3) el manejo del sistema de producción y 4) la eficiencia del uso del N fertilizante según la fuente, forma y época de aplicación.

Broadbent (1981) indica que es necesario mejorar la eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados y señala que el método isotópico (N^{15}) es más eficiente que el método indirecto, en el que se relaciona el uso del N por plantas fertilizadas con el de las plantas no fertilizadas. Carter *et al.* (1967) evaluaron la recuperación de N fertilizante con N^{15} y concluyeron que este método es de mayor utilidad.

Por otra parte, diferentes autores (Muchow, 1994; Craswell y Godwin, 1984; Osaki *et al.*, 1994), destacan la importancia del conocimiento de los factores que afectan la absorción de N por las plantas, para poder incrementar la eficiencia de uso por las mismas. Factores asociados al suelo y al clima afectan la eficiencia de uso de N (Mughogho *et al.*, 1986); la eficiencia de uso de N puede mejorarse mediante prácticas de manejo del suelo y del cultivo (Hauck, 1984). En estudios de evaluación de eficiencia de N en el trigo, con N^{15} , se demostró la importancia de la forma de colocación del nitrógeno debajo de la capa superficial del suelo para disminuir la inmovilización e incrementar la disponibilidad para el cultivo (Sharpe *et al.*, 1988). Eghball y Sander, (1989) evaluaron el efecto del espaciamiento de las bandas del fertilizante nitrogenado y encontraron que, debido a la movilidad del N en el suelo, un mayor espaciamiento favorecía el uso del elemento por las plantas, todo lo contrario a lo observado para otros elementos evaluados como es el caso del fósforo.

Holding (1982) destaca la importancia de la forma de colocación de los fertilizantes como una forma de incrementar la eficiencia de uso del N. debido a la notable interacción entre la movilidad de las formas aniónicas, el movimiento del agua en el suelo y de las propiedades físicas del suelo.

Otros indican que las aplicaciones del N en banda resultan mejores que las aplicaciones al voleo o incorporadas en el suelo, aunque este comportamiento es menos evidente en la medida en que hay un mayor desarrollo radical del cultivo (FAO, 1980).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes formas de colocación del fertilizante nitrogenado sobre la eficiencia de utilización del elemento por el cultivo maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un suelo Fluventic Haplustolls, de textura franco arenosa, ubicado en la localidad de San Carlos, estado Cojedes. Este suelo se mantuvo en condición de barbecho, sin cultivar en los años previos al experimento. El cuadro 1 muestra las principales características de este suelo y en la figura 1 se aprecia la distribución de la precipitación durante el ciclo del cultivo. Es importante destacar que solo el 25% de la precipitación (131mm) ocurrió los 42 y 77 días, etapa crítica del cultivo, que coinciden con la floración y llenado de grano.

CUADRO 1. Principales características del suelo San Carlos, donde se realizó el estudio

de formas de colocación de fertilizante.

Tratamiento	Fósforo (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	M.O %	pH 1:25	Textura
0-20	17	72	2,39	7,9	Fa
20-50	11	64	0,64	8,0	Fa
50-90	12	32	0,64	8,1	Fa
90-130	10	24	0,51	8,3	Fa
130-150	11	28	0,15	8,3	aF

Los tratamientos correspondieron a las diferentes formas de aplicación del fertilizante fueron: 1) al voleo e incorporado con un pase de rastra (V/R); 2) al voleo e incorporado con un pase de arado de disco (V/D); 3) en banda (B) a 5 cm de profundidad y 10 cm a un lado de la semilla y 4) un testigo sin

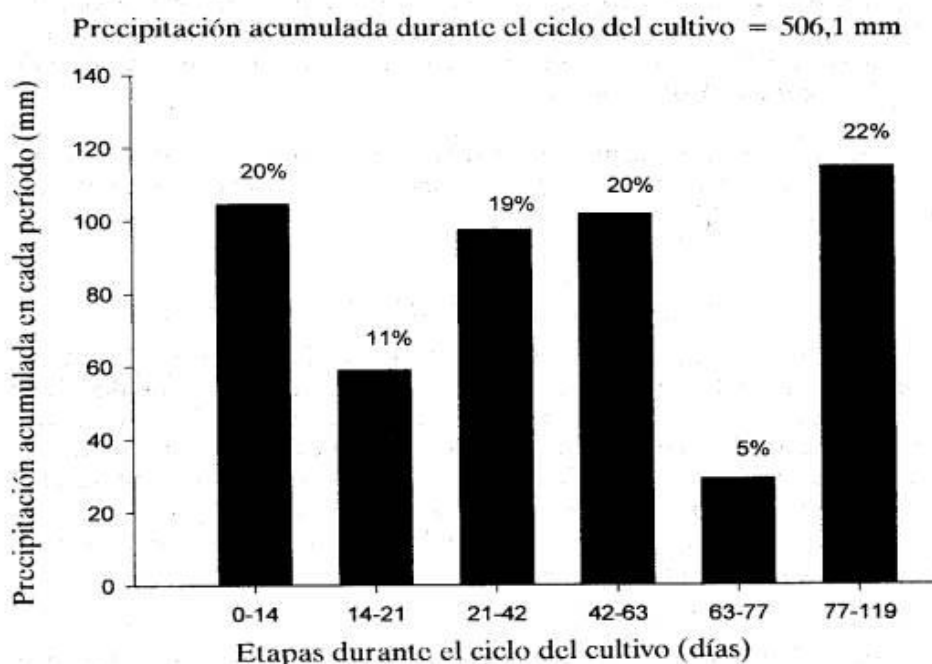


FIGURA 1. Precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo. Números sobre las barras indican la proporción del total de precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo en cada período.

Fertilizante (SF). La dosis de fertilizante nitrogenado (120 kg ha⁻¹) se aplicó en la forma de urea y fue acompañado con 40 kg h⁻¹ de P₂O₅ y de K₂O en la forma de superfosfato triple y cloruro de potasio, respectivamente.

Los tratamientos indicados se aplicaron en parcelas únicas de 10 x 20 m, donde se sembró a mano el híbrido de maíz PB-S, a una distancia de 0,8 m entre hilos y 0,2 m entre plantas. En cada una de las parcelas fertilizadas se establecieron

tres micro parcelas de 1 6x1 6 m donde la urea normal fue sustituida por urea enriquecida con N¹⁵ al 3% en exceso.

Los contenidos de N mineral (N-NO₃ y N-NH₄) del suelo fueron determinados en muestras compuestas tomadas en cada una de las parcelas en las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-60 y 60-80 cm, a los 14, 21, 42, 63, 77, y 109 días después de la siembra. La extracción de N se hizo con KCL (2M) y la determinación de amonio y nitrato se realizó por destilación (Brenmer, 1965).

La estimación de la producción de grano (PG) y materia seca (PMS) fue hecha en seis sub-parcelas de 7,4 m² cada una, ubicadas alrededor de las micro parcelas en cada uno de los tratamientos evaluados. El N total en grano y rastrojo se determinó por digestión húmeda con el empleo de H₂SO₄ Y H₂O₂ (Salinas y García, 1985) y el contenido en exceso de N¹⁵ en rastrojo y grano de las micro parcelas se obtuvo por el método sugerido por la I.A.E.A. (1983).

La determinación de la eficiencia de uso de N-fertilizante, por el método directo, se calculó usando la Ecuación 1, en donde la cantidad de N derivado del fertilizante fue estimada usando el porcentaje de N¹⁵ en exceso en el tejido y en el fertilizante (I.A.E.A., 1983).

$$\% \text{ utilización } \frac{\text{Cantidad de N derivado del fertilizante}}{\text{Cantidad de N aplicado como fertilizante}} * 100$$

Cantidad de N aplicado como fertilizante

1. La eficiencia de utilización del fertilizante por el método indirecto se calculó restando del N total extraído por las plantas en las parcelas fertilizadas el N extraído por las plantas, en las parcelas sin fertilizar, y dividiendo la diferencia entre el N aplicado al suelo como fertilizante (Ecuación 2):

$$\% \text{ Utilización } 1 \frac{(\text{N planta fertilizada}) - (\text{N planta sin fertilizar})}{\text{aplicado fertilizante}} *$$

2. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y prueba de medias con el programa estadístico MSTA (1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestra la PG, PMS y N extraído por el maíz en los diferentes tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de incorporación del fertilizante para la PG, PMS, N de grano y N total de la planta (Cuadro 2). El N de la MS no cambió con la forma de aplicación, rastra o disco, cuando se aplicó al suelo al voleo, pero V-R fue superior a B. En todos los casos la fertilización nitrogenada ocasionó respuestas significativas respecto al tratamiento testigo sin fertilizante.

CUADRO 2. Producción de grano y materia seca en los diferentes tratamientos de formas de colocación del fertilizante en el suelo.

Formación de colocación del fertilizante	Producción de grano (12% w/W)	N extraído en el grano (kg ha ⁻¹)	Producción de materia seca (kg ha ⁻¹)	N extraído en residuos (kg ha ⁻¹)	Total N extraído (kg ha ⁻¹)
Voleo/rastra	6 541,2 a	82,3 a	12 270,0 a	114,1 a	196,4 a
Voleo/disco	6 098,8 ab	86,9 a	12 015,6 a	111,7 ab	198,6 a
Banda	6 007,2 ab	80,4 a	9 760,4 ab	55,6 bc	136,0 ab
Sin fertilizar	5 120,8 b	46,9 b	9 105,7 b	40,1 c	87,0 b

Valores seguidos por la misma letra, por cada columna, son estadísticamente similares según ($\alpha=0,05$).

* Calculado con base en el peso seco.

El suministro de N por el suelo probablemente afectó la respuesta del cultivo a los diferentes tratamientos y la eficiencia de uso del N fertilizante. Un análisis o balance general, considerando los contenidos iniciales y finales de N mineral en el perfil del suelo (0-80 cm, Figura 2), el N aplicado como fertilizante (120 kg N ha⁻¹), y el N total absorbido por el cultivo (Cuadro 2), sugieren que en los tratamientos V/R, V/D, y SF hubo una mineralización neta positiva de 30, 29, y 24 kg N ha⁻¹ mientras que en el tratamiento de aplicación en banda (B) hubo una pérdida neta de 7 kg N ha⁻¹, lo cual sugiere que hubo diferencias en la disponibilidad neta del elemento en el suelo dependiendo del tratamiento y ello pudo afectar la utilización del fertilizante.

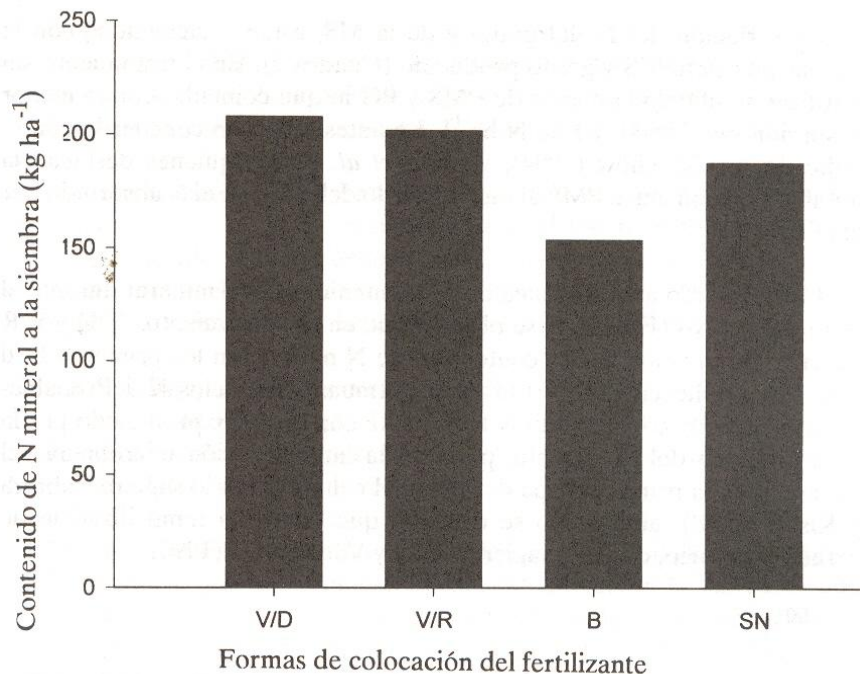


FIGURA 2. Contenidos iniciales de N mineral en el perfil del suelo en las diferentes formas de colocación del fertilizante.

Es importante destacar que la aplicación del fertilizante en banda no mejoró la producción del cultivo en relación con las otras formas de colocación evaluadas. El comportamiento del tratamiento de aplicación en banda en general es más cercano al tratamiento sin fertilizar, y posiblemente ello se deba a que en el tratamiento B se observaron los contenidos menores de N mineral en los primeros 20 días del ciclo del cultivo (155 kg N ha^{-1}). La fluctuación del nitrógeno inicial entre los tratamientos fue de 155 y 208 kg N ha^{-1} (Figura 2). Adicionalmente, el análisis de la mineralización neta durante el ciclo del cultivo, como se indicó anteriormente, refleja una mineralización neta negativa en el tratamiento en banda, contrario a lo observado para los otros tratamientos, lo cual explicaría en parte los bajos contenidos de N absorbido en el tratamiento B.

La variación del N del grano y de la MS, están relacionados con la encontrada para MS y grano producido (Cuadro 2). En el tratamiento sin fertilizar se obtuvo la menor de PMS y PG lo que coincidió con la menor absorción de N total (87 kg N ha^{-1}) los antes señalados concuerda con lo indicado por Muchow (1994), y Osaki *et al* (1994) quienes destacan la notable relación entre PMS al final del ciclo del cultivo y el N absorbido por el mismo.

Con respecto a la dinámica de los contenidos de N mineral durante el ciclo del cultivo (Figura 39, se observa que en los tratamientos V/D y V/R ocurrió la disminución de los contenidos de N mineral en los primeros 14 días luego de la aplicación del fertilizante en el suelo, promovido por la incorporación del fertilizante, permitió la inmovilización microbiana del elemento en la primera etapa del ciclo del cultivo como lo sugiere Cabrera y Kissel (1988), aunque no se descarta que ocurriera inmovilización de carácter químico, como lo sugiere Groot y van Keulen (1990)

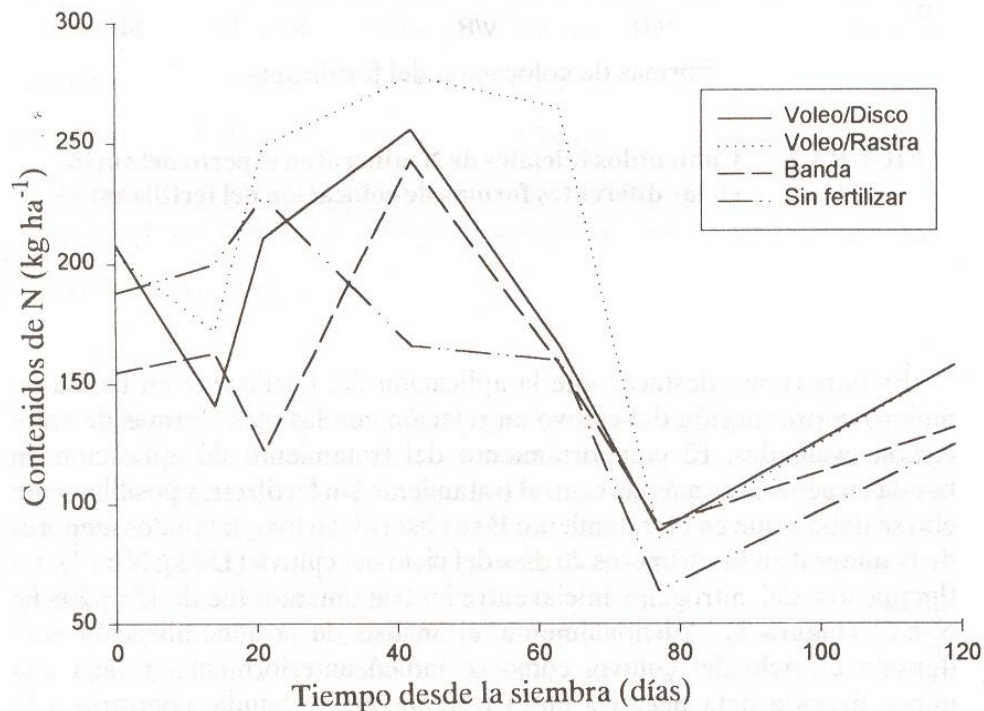


FIGURA 3. contenido de N mineral acumulado en el perfil del suelo durante el ciclo del cultivo en las diferentes formas de colocación del fertilizante.

Es posible que la inmovilización fuese seguida por un proceso de remineralización del N inmovilizado y/o mineralización del N-orgánico nativo del suelo (Sierra, 1992; Jenkinson *et al.*, 1985), lo cual se evidencia por el incremento en el N mineral hasta los 42 d en los tratamientos V/D, y V/R.

En el tratamiento sin fertilizar se observó mineralización neta positiva en los primeros 21 d luego de la siembra, lo cual puede atribuirse al efecto "flush", asociado al humedecimiento del suelo, y/o disrupción de los agregados del suelo lo cual favorece la exposición de compuestos carbonáceos a la actividad microbiana del suelo (Cabrera, 1993).

Sin embargo, en este tratamiento (SF), una vez que se consume el N fácilmente mineralizable, lo cual posiblemente ocurrió durante los primeros 21 d del ciclo del cultivo, el contenido de N mineral disminuye drásticamente hasta el final del ciclo del cultivo.

En el tratamiento de aplicación del fertilizante en banda (B), debido posiblemente a que no se muestreó exactamente sobre la banda de aplicación del fertilizante, no pudo evaluarse acertadamente la dinámica de los contenidos de N mineral, especialmente en las primeras etapas del ciclo del cultivo. El incremento en los contenidos de N mineral en este tratamiento (B), entre 21 y 42 d, posiblemente ocurrió por la difusión del N mineral desde la zona de alta concentración del elemento en la banda de aplicación hacia zonas de baja concentración donde se realizó el muestreo.

Eficiencia de utilización del N fertilizante. En el Cuadro 3 se presentan las

eficiencias de utilización de N calculadas por el método isotópico (N^{15}) y por el método indirecto. Los valores más altos correspondieron al método indirecto, entre 39,9 y 91,7% para la biomasa total, y los más bajos al método directo (N^{15}), entre 1,8,8 y 23,7%.

Por el método isotópico no se observaron diferencias significativas en la eficiencia de uso del elemento entre los tratamientos evaluados. Por el método indirecto los tratamientos V/R y V/D fueron significativamente superiores al tratamiento de colocación del fertilizante en banda (B) tal como se observa en el Cuadro 3.

Los valores más elevados de eficiencia obtenidos por el método indirecto en comparación con los del método isotópico tienen su explicación en lo señalado por Broadbent (1981), quien indica que por el método indirecto podría ocurrir sobreestimación debido a que las plantas fertilizadas tienen mayor capacidad de exploración del volumen de suelo y absorción del N mineral nativo del suelo, en relación con las plantas no fertilizadas. Entonces gran parte del N del suelo absorbido por el cultivo es atribuido al N fertilizante y de esta manera la eficiencia de utilización es sobreestimada.

CUADRO 3. Eficiencia de utilización del N aplicado calculado por el método directo (N^{15}) y el método indirecto.

Forma de colocación del fertilizante	Método Directo (%)			Método Indirecto (%)		
	Residuo de cosecha	Grano	Total	Residuo de cosecha	Grano	Total
Voleo/rastra	11,95 a	6,84 a	18,79 a	61,51 a	28,67 a	90,16 a
Voleo/disco	13,09 a	9,96 a	23,04 a	59,69 a	31,97 a	91,67 a
Banda	10,60 a	13,09 a	23,69 a	13,17 b	26,73 a	39,90 b

Valores seguidos de la misma letra, en la misma columna, son estadísticamente similares según ($\alpha=0,05$).

En este trabajo la fertilización nitrogenada y la forma de colocación del fertilizante pudieron incidir sobre el volumen de suelo explorado por las raíces, la densidad radical y la morfología del sistema radical, y consecuentemente sobre la accesibilidad y absorción del N del suelo y fertilizante. Estudios de la distribución y actividad del sistema radical en este tipo de estudio (Mier Y Terán-Tovar y Quintana, 1990) mostraron diferencias significativas en lo que respecta a la superficie radical entre los tratamientos, con los valores más elevados en los tratamientos V/A y B, y los más bajos en los tratamientos V/R y SF. En este experimento el tratamiento V/R presentó la más baja eficiencia de utilización por el método isotópico (18,8%; Cuadro 3), lo cual podría estar asociado al escaso uso del N fertilizante.

La baja eficiencia de N calculada por el método directo es un indicativo de que una gran proporción del total de N absorbido por el maíz proviene del N nativo del suelo. Las eficiencias de utilización por este método son inferiores a las obtenidas en otros estudios (Reddy y Reddy, 1993), quienes obtuvieron eficiencias de utilización entre 43-57% que sugieren que existe un extensivo intercambio entre el N del suelo y N del fertilizante.

Posiblemente los aportes del N del suelo, provenientes de la mineralización de

las formas orgánicas, como se indicó anteriormente, y la disponibilidad inicial del elemento en el suelo (entre 155 y 208 kg N ha⁻¹), también pudieron contribuir a las bajas tasas de utilización del N del fertilizante.

CONCLUSIONES

- La forma de colocación del fertilizante no afectó la PMS y PG del cultivo. Posiblemente el suelo fue capaz de suplir cantidades significativas del elemento.
- La alta capacidad de suministro del N por el suelo podría estar asociada a los elevados contenidos de N mineral inicial y/o al incremento de la tasa de mineralización del N orgánico del suelo asociado a la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

SUMMARY

The way in which a nitrogen fertilizer is placed on the soil affects the efficiency of use of the element. In this study, the effects of different methods of application of 120 kg N ha⁻¹ (urea) on grain production, dry matter and N absorbed by maize in Fluventic Haplustolls soil of San Carlos, Cojedes State were evaluated. Treatments were: 1) broadcast and incorporated with harrow, 2) broadcast and incorporated with a harrow disk plow, 3) strip application, and 4) without fertilization. The efficiency of use of N-fertilizer was measured by the isotopic method (N¹⁵) and the indirect method (N extracted per fertilized and none fertilized plants). For the evaluation by the isotopic method, common urea was substituted by Nis at 3% exc. Mineral N contents of the soil were also related with the response of maize to the treatments. No significant differences were found for grain production, dry matter, and N extracted by the crop between fertilized treatments, although certain differences between these and none fertilized treatment were present. The low efficiency of utilization of fertilized N measured by the direct method (18,8-23,7%) suggests that a high supply of N by the soil may have affected the response of the crop to the ways in which the fertilizer was placed. The high efficiency of utilization evaluated by the indirect method suggests a higher absorption of soil N by fertilized plants (92% treatment 1 and 40% treatment 3) than by unfertilized ones.

Key Words: Isotopic methods; fertilizer application method; *Zea mays* L.; nitrogen absorption.

BIBLIOGRAFÍA

BREMER, J. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black C. (ed.) Methods of soil Analysis. Part. II. Madison, WI. ASA. p. 1 179-1 237.

BROADBENT, F. 1981. Methodology for nitrogen transformation and balance in soil. Plant and Soil 58:383-399.

CABRERA, M. 1993. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:63-66.

- CABRERA, M., and D. KISSEL. 1988. Evaluation of a method to predict nitrogen mineralization from soil organic matter under field conditions. Soil Sci. Soc. Am..J. 52:1 027-1 031.**
- CARTER, J., O. BENNETT and R. PEARSON. 1967. Recovery of fertilizer nitrogen under field conditions using nitrogen-15. Soil Sci. Soc. Am. Proc, 31:50-56.**
- CRASWELL, E. and D. GODWIN. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. Advances in Plant Nutrition 1:1-55.**
- EGHBALL, B. and D. SANDER. 1989. Band spacing effects of dual-placed nitrogen and phosphorus fertilizers on corn. Agron. J. 81:178-184.**
- F.A.O. 1980. Maximizing the efficiency of fertilizer use by grain crops. Boletín 3. Rome, Italia. 30 p.**
- GROOT, J. and H. VAN KEULEN. 1990. Prospects for improvement of nitrogen fertilizar recommendations for cereals: A simulation study. In: M.L. van Beusichem (ed.) II. International plant nutrition colloquium. Plant Nutrition - Physiology and Applications. Wageningen, Netherlands. p. 685-692.**
- HAUCK, R. 1984. Technological approaches to improve the efficiency of nitrogen fertilizar use by crop plants. In: R. Hauck (ed.) Nitrogen in crop Production. Madison, WI. ASA, and SSSA. p. 551-560.**
- HOLDING, P. 1982.'Some priority rescarch areas in nitrogen studies. Plant and Soil 67:81-90.**
- INTERNATIONAL AGENCY OF ENERGY ATOMIC (I.A.E.A.) 1983. A guide to the use of nitrogen-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition: Calculations and interpretations of data. Vienna, Austria. Technical Document N-288. p. 65.**
- JENKINSON, D., R. FOX and J. RAYNER. 1985. Interaction between fertilizar nitrogen and soil-nitrogen, the so-called "priming effect". J. Soil Sci. 36:425-444.**
- MEISINGER, J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. In: R. Hauck (ed.). Nitrogen in crop Production. Madison, WI. ASA and SSSA. p. 391-416.**
- MIER Y TERAN-TOVAR, J. y T. J. QUINTANA. 1990. Producción de biomasa, nutrición y desarrollo radical dei maíz (*Zea Mays* L.) bajo tres condiciones de aplicación del fertilizante al suelo. Tesis de grado. Maracay, Venezuela. Facultad de Agronomía. Universidad Central. 92 p.**
- MSTA. 1989. MSTAT development team. Michigan State University, Michigan. USA,**
- MUGHOGHO, S., A. BATIONO, B. CHRISTIANSON and P. VLEK. 1986. Management**

of nitrogen fertilizar for Tropical African soils. In: U. Mokwunye, and P. Vlek (eds.). Managernent of nitrogen and phosphorus fertilizers in Sub-Sahara Africa, Proccedings of Symposium. IFDC, Muscle Shoals, Alabama, USA. p.117-172.

MUCHOW, R. 1994. Effect of nitrogen on yield determination in irrigated maize in tropical and sub-tropical environment. Field and Crops Res. 38:1-13.

OSAKI, M., S. TAKURO and T. TADANO. 1994. Parameters determining yield of ficid crops in relation to the amount of nitrogen absorbed. Soil Sci. Plant Nutr. 40:19-28.

REDDY, G. and R. REDDY. 1993. Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:111-115.

SALINAS, J. y R. GARCÍA. 1985. Métodos químicos para análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Cali, Colombia. CIAT. 83 p.

SHARPER, R; A. HARPER, E. GIDAENS and G. LONGDELE. 1998. Nitrogen use efficiency and nitrogen budget for conservation tilled wheat. Soil Sci. Am. J. 52:1394-1398

SIERRA, C. 1992. Relationship between mineral N content and N under mineralization rate in disturbed and indisturbed soil samples incubated under field and laboratory conditions. Aust. J. Soil Res. 30:477-492.

