

Evaluación del efecto de tres fuentes nitrogenadas sobre la absorción de nitrógeno y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.)

Evaluation of the effect of three nitrogen sources on nitrogen absorption and corn plant (*Zea mays* L.) yield

M. Barrios, L. Villarreal, K. Férez y C. Basso

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Agronomía. Campus Maracay. Vía El Limón. CP 2101.

Resumen

Para determinar nitratos en el suelo y en la planta de maíz y sus efectos sobre la productividad se realizó un experimento en la Facultad de Agronomía, UCV, Maracay (2009). Cada parcela experimental midió 3,6 x 4,0 m², con 4 hileras de 4 m, separadas 0,9 m y 0,25 m entre plantas. Dosis de N y momento de aplicación fueron combinados para 9 tratamientos, más un testigo sin N; se aplicaron tres fuentes nitrogenadas: urea convencional (46% N), urea recubierta con ácidos húmicos (URAH) (45% N; 2% sustancias húmicas) y 3,4-DMPP® (inhibidor de la nitrificación; 26% N; 13% S); esta aplicación se realizó en dos fracciones: a la siembra y 30 días después, utilizando las dosis 69, 92 y 115 kg.ha⁻¹. Se añadieron además 35 y 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ y 60 kg.ha⁻¹ de K₂O. Se realizaron 3 evaluaciones: 30, 60 y 120 días después de la siembra, para evaluar rendimiento, número de granos y peso de 500 granos. El nitrato en savia se determinó con un Cardi Meter (Horiba). Los tratamientos con 3,4-DMPP® y URAH resultaron en mayor disponibilidad de N para la planta y mayor efectividad en el retardo de la tasa de nitrificación, que la urea convencional a la dosis más baja. El rendimiento fue mayor a la dosis más alta de URAH, encontrándose además que las concentraciones más altas en el suelo, se obtuvieron en los tratamientos con 3,4-DMPP® y URAH.

Palabras clave: maíz, nitrato, absorción, urea, 3,4-DMPP®, productividad.

Abstract

This experiment was conducted during 2009 at Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, to evaluate nitrate nitrogen in soil and corn plant, and its effects on productivity. The experimental design was a randomized block, with three replications. Plots were 3,6 x 4,0 m², containing 4 rows spaced 0.9 m apart and

Recibido el 21-4-2011 ● Aceptado el 7-2-2012

Autor de correspondencia e-mail: barriosm@agr.ucv.ve

0.20 m between plants. Nitrogen rates and application time were combined to generate 9 treatments plus a control without nitrogen; there were applied three different types of nitrogen fertilizers: regular urea (46% N), urea coated with humic acids (URAH) (45% N; 2% humic substances) and 3,4-DMPP® (nitrification inhibitor; 26% N; 13% S); fertilizer treatments were applied in two fractions: at planting and 30 days after, and the rates were 69, 92 and 115 kg.ha⁻¹, plus 35 kg.ha⁻¹ and 60 kg.ha⁻¹ of P₂O₅ and K₂O, respectively. Three evaluations were performed, 30, 60 and 120 days after planting to determine yield, number of grains and 500 grains weight. Nitrate in sap was determined with a Cardi Meter (Horiba). Treatments with 3,4-DMPP® and URAH resulted in more N to be absorbed by plants and effectiveness in nitrification rate retardation, comparing to regular urea, at the lower rate. Yields were higher at the major rate of URAH, moreover the highest concentrations of N in soil were obtained in 3,4-DMPP® and URAH treatments.

Key words: corn, nitrate, absorption, urea, 3,4-DMPP, productivity.

Introducción

La producción de maíz en Venezuela, aproximadamente 2.496.207 t (Fedegro, 2010) se ubica en suelos pobres en nutrientes y en materia orgánica, con bajos contenidos de nitrógeno y pobres en otros nutrientes (Solórzano y Rengel, 2004); son además suelos pesados que tienden a aguachinarse; aunado a esto, la utilización y forma de aplicación de la urea fertilizante, contribuyen a elevar las pérdidas de nitrógeno por volatilización, lo que pudiera ser la causa de la baja eficiencia de esta fuente nitrogenada (Ferraris y Couretot, 2010). El empleo eficiente de fertilizantes nitrogenados es una necesidad agronómica, económica y ambiental (Yadav *et al.*, 2003). Se han realizado numerosos estudios acerca de la eficiencia de uso del nitrógeno aplicado en los fertilizantes (Delgado *et al.*, 2004); sin embargo, en Venezuela todavía existen problemas en relación a la selección de las dosis más adecuadas y el momento de aplicación idóneo en fun-

Introduction

The corn production in Venezuela approximately 2.496.207 t (Fedegro, 2010) is located in soils poor in nitrogen and organic matter with low contents of nitrogen and poor in other nutrients (Solórzano and Rengel, 2004), are also heavy soils that tend to soak, plus, the use and form of application of urea fertilizer contribute to elevate the lost nitrogen by volatilization, which might be the cause of the low efficiency of this nitrogen source (Ferraris and Couretot, 2010). The efficient nitrogen fertilizer usage is an agronomic, economical and environmental need (Yadav *et al.*, 2003). Many or several researches about the use efficiency of nitrogen applied in fertilizers (Delgado *et al.*, 2004) have been done; however, in Venezuela there are problems in relation to the selection of the more adequate doses and the most adequate application moment in function of the requirements of the plant, the utilization of fertilizers with inhibitors

ción de los requerimientos de la planta; la utilización de fertilizantes con inhibidores de la nitrificación y de liberación lenta constituyen actualmente una alternativa para mejorar la eficiencia agronómica y fisiológica de este cultivo tan importante nutricionalmente.

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la dinámica de absorción del nitrógeno (nitrato), tanto en tejido vegetal como en el suelo y su efecto sobre la productividad de la planta, además de evaluar las dinámicas químicas del nitrógeno utilizando diferentes dosis y fuentes, con el fin de comparar la recuperación por la planta del nitrógeno aplicado y el tiempo de permanencia de los nitratos en el suelo, en la fase vegetativa (emergencia hasta inicio de la floración) hasta la madurez; esto nos permitirá aproximarnos a un método más adecuado para el manejo de la fertilización nitrogenada bajo las condiciones de clima y suelo del sitio del experimento.

Materiales y métodos

Ensayo de campo

El experimento se llevó a cabo durante los meses de Febrero-Junio (2009), en el Campo Experimental del Instituto de Agronomía (Latitud: 10°16'20" N; Longitud: 67°36'35"W), Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Se utilizó un diseño en bloques al azar, con tres repeticiones. Se aplicaron al suelo tres tipos de fertilizantes nitrogenados: urea convencional (UC) (46% N), urea recubierta con ácidos húmicos (URAH) (45% N; 2% sustancias húmicas de

of nitrification and slow release nitrogen constitute an alternative to improve the agronomical and physiological efficiency of this nutritional important crop.

In this research was evaluated the effect of the nitrogen fertilization on the dynamic of nitrogen absorption (nitrate) in both vegetal tissue and soil, and the effect on plant productivity, besides of evaluating the chemical dynamics of the nitrogen using different doses and sources, with the aim of comparing the recuperation by the plant of the applied nitrogen and the remaining time of nitrates in soil in the vegetative phase (emergency until the beginning of flowering) until ripening, this will allow us to get closer to a more adequate method for nitrogen fertilizer management under weather and soil conditions of the experimental place.

Materials and methods

Field's essay

The experiment was carried out during February-June (2009), in the Experimental Field of "Instituto de Agronomía" (Latitude: 10°16'20" N; Longitude: 67°36'35"W), "Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela". A randomized block design with three replications was used. Three types of nitrogen fertilizers were applied to the soil: conventional urea (UC) (46% N), urea coated with humic acids (URAH) (45% N; 2% humic substances of fluvial origin) and 3.4-DMPP® (molecule inhibitor of nitrification; 26% N; 13% S) in two fractions; the first half with the sow

origen fluvial) y 3,4-DMPP® (molécula inhibidora de la nitrificación; 26% N; 13% S), en dos fracciones: la primera mitad a la siembra y la segunda mitad 30 días después de la siembra (dds). El área de las parcelas fue de 3,6 x 4,0 m², con cuatro hileras de 4 m de longitud, 0,9 m de separación y una distancia entre plantas de 0,25 m. Las dosis de N y el momento de aplicación fueron combinados para generar nueve tratamientos y se añadió un testigo sin N para un total de diez tratamientos (cuadro 1). Se aplicaron 35 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (todo a la siembra) y 60 kg.ha⁻¹ de K₂O en dos fracciones (al igual que el N); el suelo utilizado fue un Fluventiq haplustoll, francoso fino, isohipertérmico, con bajos contenidos de materia orgánica (<2%) (Casanova, 2008) como se refleja en el cuadro 2. Se realizaron las siguientes determi-

and the second half 30 days after the sow (das). The area of the plots was 3.6 x 4.0 m², with four rows of 4 m of longitude, 0.9 m of separation and a distance between plants of 0.25 m. The doses of N and the moment of the application were combined to generate nine treatments and a witness without N was added for a total of ten treatments (table 1). 35 kg.ha⁻¹ of P₂O₅ (all to the crop) and 60 kg.ha⁻¹ of K₂O in two fractions (as well as N) were applied; the soil used was Fluventiq haplustoll, fine limy, isohyperthermic, with low content of organic matter (<2%) (Casanova, 2008) as shown in table 2. The following analytical determinations performed done: pH in water (1:1), electrical conductivity (soil-solution relation 1:5); mechanical analysis (Boyucos method), organic matter,

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos de fertilización aplicados en el ensayo.

Table 1. Description of fertilization treatments applied in the essay.

Fuente nitrogenada	Dosis de N (kg.ha ⁻¹)	Tratamiento	Dosis de fertilizante (kg.ha ⁻¹)
Urea convencional (UC)	D1 69	T1	D1 150
	D2 92	T2	D2 200
	D3 115	T3	D3 250
3,4-DMPP® 3,4-dimetilpirazol fosfato	D1 69	T4	D1 265
	D2 92	T5	D2 354
	D3 115	T6	D3 442
URAH (Urea recubierta de ácidos húmicos)	D1 69	T7	D1 153
	D2 92	T8	D2 204
	D3 115	T9	D3 256
Testigo	D0 0	T0	D0 0

Cuadro 2. Resultados del análisis preliminar del suelo estudiado. CE: Conductividad Eléctrica; M.O: Materia Orgánica. Textura: F (Franco); FL (Franco Limoso); Fa (Franco arenoso).

Table 2. Results of the preliminar analysis of the studied soil. CE: electric conductivity; M.O: Organic matter. Texture: F (loamy); FL (limy loamy); FA (Sandy loamy).

Textura	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	pH 1:1 (agua)	CE (dS/m)	M.O (%)	Concentración (mg.kg ⁻¹)				
							P	K	Ca	Na Mg	
F	9	48	42	6,86	0,210	1,80	80	6	1289	13	1660
FL	8	56	36	7,40	0,150	1,55	55	2	1098	26	2616
Fa	6	46	48	6,39	0,080	1,83	48	6	830	9	2280

naciones analíticas: pH en agua (1:1); conductividad eléctrica (relación suelo-solución 1:5); análisis mecánico (método de Boyoucos); materia orgánica; bases cambiables (acetato de amonio).

Se sembró un híbrido de maíz blanco (Sehiveca, SK 393) de alto potencial productivo y ciclo de 120 a 125 días. El control de malezas, insectos plaga y enfermedades se realizó en función de los umbrales económicos o síntomas visuales; el riego se realizó por surcos con tapas, una vez a la semana.

Variables evaluadas

Las variables descritas a continuación se evaluaron a 30, 60 y 120 días después de la siembra (dds):

Contenido de nitrato en savia. Se utilizó para estas determinaciones un electrodo específico de NO_3^- ; Cardi Plant Nutrient Meter, Horiba Spectrum Technologies, Inc. (Cardimeter). A los 30 dds se muestrearon 8 plántulas de las cuales se separaron los tallos y hojas, se cortaron en trozos, se colocaron en una prensa hidráulica, se extrajo la savia de las hojas en cada tratamiento y ésta se refrigeró a 5°C ; 60 dds se muestreó la hoja por debajo de la mazorca de 8 plantas en las dos hileras centrales de cada parcela y se llevaron al laboratorio; se cortaron en trocitos y se les extrajo la savia para determinar la concentración de NO_3^- . Se realizó el mismo procedimiento a los 120 dds, con el muestreo de la quinta hoja de la planta debajo de las que forman el cogollo. Para la determinación de nitratos, se calibró el Cardimeter y las muestras se dejaron a temperatura ambiente, la lectura del N se realizó en una gota de savia.

exchangeable bases (*ammonium acetate*).

A hybrid of white corn was sowed (Sehiveca, SK 393) with high productive potential and cycle from 120 to 125 days. The control of weeds, insects, pests and diseases was done in function of the economical threshold or visual symptoms; irrigation was done with water furrows once a week.

Evaluated variables

The variables following described were evaluated 30, 60 and 120 days after the sow (das):

Nitrate content in sap. for these determinations was used a specific ion electrode of NO_3^- ; Cardi Plant Nutrient Meter, Horiba Spectrum Technologies, Inc. (Cardimeter). At 30 das 8 seedlings were sampled out and separated leaves and stems, which were chop up to pieces for each treatment; then, the leaves sap was extracted with a hydraulic press and refrigerated at 5°C ; 60 das was sampled the leaves under the ear of eight plants in the two central rows of each plot and were taken to the laboratory, were cut in pieces and the sap was extracted to determine the concentration of NO_3^- . The same procedure was done 120 dds after, sampling the fifth leaf under those forming in the whorl. For determining the nitrates, the Cardimeter was calibrated and the samples were placed at environment temperature, the lecture of N was done in a sap drop.

Crop yield: 10 m^2 were cropped manually in each experimental unit; once harvested the ears were threshed manually and the moisture of the grain was determined at physiological maturity; these registers were used to

Rendimiento del cultivo: Se cosecharon manualmente 10 m² en cada unidad experimental; una vez cosechadas las mazorcas, se trillaron manualmente y se determinó la humedad del grano en madurez fisiológica; estos registros se utilizaron para expresar el rendimiento al 14% de humedad del grano.

Materia Seca (MS): Se muestrearon 12 plantas al azar y se cortaron desde la base, se pesaron en campo para obtener el peso fresco y luego se llevaron a estufa a una temperatura de 80-85°C durante dos días y se pesaron nuevamente. Por último se determinó la cantidad de MS.

Peso de granos (PG): Se determinó el peso promedio de un grano a la cosecha, sobre 2 muestras de 500 granos cada una, secadas en estufa hasta peso constante.

Peso de mazorca, numero de hileras y numero de granos por hileras: Se muestrearon 8 mazorcas de las plantas que fueron secadas en la estufa y se pesaron en una balanza electrónica; se registraron además el número de hileras y el número de granos por hileras de cada mazorca.

Contenido de nitrato en suelo: Se realizaron tres muestreos de suelo (0-30 cm), coincidentes con el muestreo de tejido vegetal. Se tomaron muestras de 1 kg por cada parcela y se llevaron al Laboratorio General de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Para la determinación de nitratos (N-NO₃⁻) en el suelo, se siguió el protocolo descrito en "Métodos de Análisis de Suelos y Plantas" utilizado por este laboratorio (Cuadernos Agronomía, 1993).

express the yield at 14% of grain's moisture.

Dry matter (MS): 12 plants were randomly sampled and cut from the base, they were weighted in field to obtain the fresh weight and were later taken to a stove at a temperature of 80-85°C for two days and weighted again. Later, the amount of MS was determined.

Weight of grains (PG): the average weight of a grain at harvest was determined over 2 samples of 500 grains each, dried in stove until obtaining constant weight.

Weight of ear, number of rows and number of grains per rows: 8 ears of the plants were sampled, dried in the stove and weighted in an electronic scale, were also registered the number of rows and the number of grains per row of each ear.

Nitrate content in the soil: There were performed three soil samplings (0-30 cm) of vegetal tissue. Samples of 1 kg per plot were taken and carried to the General Laboratory of Soils of at "Facultad de Agronomía" Universidad Central de Venezuela. For determining the nitrates (N- NO₃⁻) in the soil, was followed the protocol described in "Methods of Soil Analysis and Plants" used by this laboratory (Cuadernos Agronomía, 1993).

The following mathematic expression was used to calculate the N percentage:

$$\% N = \frac{[(T - B) * 4] * 0.01 * 1.4}{A}$$

Where:

T= ml of HCl

Se utilizó la siguiente expresión matemática para el cálculo del porcentaje de N:

$$\% N = \frac{[(T - B) * 4] * 0.01 * 1.4}{A}$$

Donde:

T= ml de HCl

4= Valor constante para extraer lo que hay en 100 mL del extracto de suelo

B= Blanco

A= Peso del suelo seco utilizado para el extracto (g)

0,01= Normalidad del ácido

1,4= Factor de conversión

Las muestras de suelo fueron analizadas de acuerdo a los procedimientos estándar descritos en “Métodos de Análisis de Suelos y Plantas” utilizados en el Laboratorio General de Suelos” (Cuadernos Agronomía, 1993).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados con el programa SAS®; se les realizó análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental utilizado y comparación múltiple de medias según Duncan. Los gráficos fueron realizados en el Programa Sigma Plot.

Resultados y discusión

Concentración de N-NO₃⁻ en la savia (30, 60 y 120 dds)

La adición de nitrógeno incrementó el contenido de nitrato en el tejido vegetal en todos los tratamientos. En las figuras 1, 2 y 3 se aprecian los cambios en la concentración de nitrato a los 30, 60 y 120 dds. Las cantidades son mayores a los 30 días en comparación a las obtenidas a los 60 días;

4= constant value to extract what it is 100 mL of the soil's extract

B= Blank

A= weight of the dry soil used for the extract (g)

0.01= acid normality

1.4= conversion factor

The soil samples were analyzed according to the standard procedures described in “Methods of Soils and Plants analyses” used in the General Laboratory of Soils” (Cuadernos Agronomía, 1993).

Statistical analysis

The data obtained was analyzed with the program SAS®; a variance analysis was performed according to the experimental design used and Duncan's multiple range test.

The graphics were done using Sigma Plot.

Results and discussion

Concentration of N-NO₃⁻ in sap (30, 60 and 120 dds)

The addition of nitrogen increased the content of nitrate in the vegetal tissue in all the treatments. In figures 1, 2 and 3 are seen the changes in the concentration of nitrate within 30, 60 and 120 dds. The quantities are higher at 30 days comparing to the ones obtained at 60 days; this indicates that there was some availability of nitrogen in the soil at the beginning of the crop cycle. Echeverría *et al.* (2005) obtained similar results when evaluated the changes in the concentration of nitrate in sap during corn growth season. On the other hand, the application of nitrogen at the moment of the sow, allowed higher amounts of nitrates available

esto indica que había alguna disponibilidad de nitrógeno en el suelo al inicio del ciclo del cultivo. Echeverría *et al.* (2005) obtuvieron resultados similares cuando evaluaron los cambios en la concentración de nitratos en savia durante la estación de crecimiento del maíz. Por otra parte, la aplicación del nitrógeno al momento de la siembra, permitió que hubiese una mayor cantidad de nitratos disponibles para ser absorbidos por la planta, transportados al tallo y allí asimilarse. Hubo diferencias significativas a 30 y 60 dds ($P \leq 0,05$) y las mayores cantidades de nitrato en savia se obtuvieron en los tratamientos con 3,4-DMPP® y URAH, a la dosis de 92 kg.ha⁻¹. Esto está relacionado con el retardo del período de transformación del amonio en nitrato, que favorece la absorción de nitrógeno amoniacal y disminuye las pérdidas por lixiviación del nitrato, efecto que se logra con la molécula inhibidora de la nitrificación 3,4-DMPP®. Aparentemente también se logra un efecto de retardo de la tasa de nitrificación con la URAH, debido a la acidificación del medio alrededor del gránulo por el humus que lo recubre, y su contenido de grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles, liberando iones H⁺, y dificultando la actividad de las bacterias nitrificantes, cuyo pH óptimo está alrededor de 6,6 a 8,0 (Navarro y Navarro, 2003). Se aprecia además en la figura 1, que la 3,4-DMPP® y la URAH permiten una mayor disponibilidad de nitrógeno para la planta y mayores concentraciones en el tejido vegetal a las dosis baja y media (69 y 92 kg.ha⁻¹) respectivamente; estos contenidos solo se logran a la dosis más alta de urea convencional

to be absorbed by plant, transported to the stem be assimilated there. There were significant differences at 30 and 60 dds ($P \leq 0.05$) and the highest amount of nitrate in sap were obtained in the treatments with 3.4-DMPP® and URAH, at a dose of 92 kg.ha⁻¹. This is related to the retard of the transformation period of ammonium in nitrate, that favors the absorption of ammonium nitrogen and reduces the lost by lixiviation of nitrate, effect that is accomplished with the nitrification inhibitor molecule 3.4-DMPP®. Apparently, there is also a retardation effect on nitrification rate with URAH, due to the acidification of the environment around the granule because of the humus that covers it, and its content of caboxilic and phenolic groups that behave as weak acids, releasing ions H⁺, and difficulting the difficulting the nitrifying bacteria activity, whose optimum pH is around 6.6 to 8.0 (Navarro and Navarro, 2003). It is also seen in figure 1, that 3.4-DMPP® and URAH allow a better availability of nitrogen for the plant and higher concentrations in the vegetal tissue at low and medium doses (69 and 92 kg.ha⁻¹) respectively; these contents are only obtained at the highest dose of conventional urea (115 kg.ha⁻¹). At 60 dds (figure 2) were obtained lower concentrations in the vegetal tissue, in this moment of the cycle the absorption is maximum and the plant accumulates the nitrogen in the reservoir tissues to face the emission of flowers and shoots; likewise, the plant has accumulated enough nitrogen for the grains until the physiological maturity; it is appreciated that in treatments with

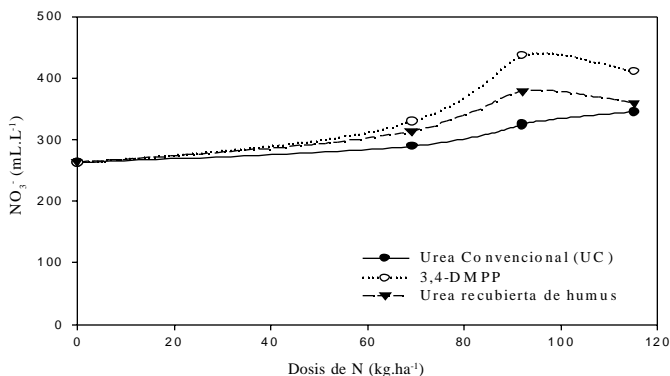


Figura 1. Cambios en la concentración de N-NO₃⁻ (mL.L⁻¹) en las plantas de maíz, 30 días después de la siembra.

Figure 1. Changes in the concentration of N-NO₃⁻ (mL.L⁻¹) in corn plants, 30 days after the sow.

(115 kg.ha⁻¹). A los 60 dds (figura 2), se obtuvieron menores concentraciones en el tejido vegetal; en este momento del ciclo la absorción es máxima y la planta acumula el nitrógeno en los tejidos de reserva para hacer frente a la emisión de flores y brotes; así mismo, la planta ha acumulado suficiente ni-

3,4-DMPP[®] remains a progressive increment of the nitrate concentration, even when the statistical analysis shows that there are not significant differences between 3,4-DMPP[®], URAH and conventional urea, except the lower dose of the latter and the absolute witness ($P \leq 0.05$). At 120 dds there were

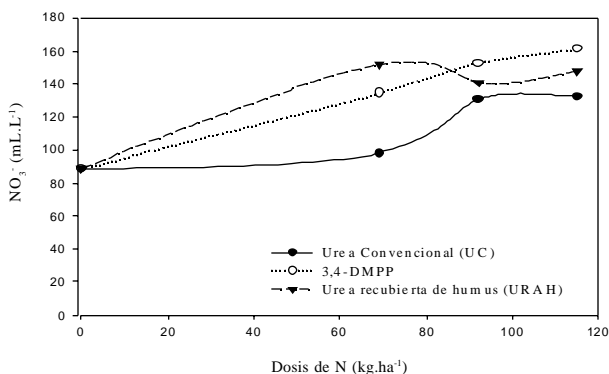


Figura 2. Cambios en la concentración de N-NO₃⁻ (mL.L⁻¹) en las plantas de maíz 60 días después de la siembra.

Figure 2. Changes in the concentration of N-NO₃⁻ (mL.L⁻¹) in corn plants 60 days after the sow.

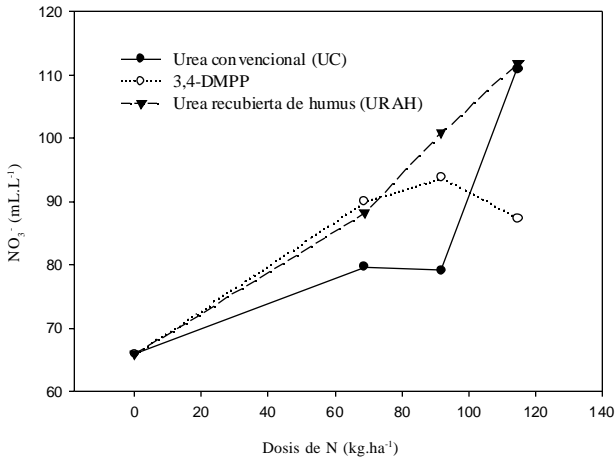


Figura 3. Cambios en la concentración de N-NO₃⁻ (mL.L⁻¹) en las plantas de maíz, 120 días después de la siembra.

Figure 3. Changes in the concentration of N-NO₃⁻ (mL.L⁻¹) in corn plants, 120 days after the sow.

trógeno para proveer a los granos hasta la madurez fisiológica; se aprecia que en los tratamientos con 3,4-DMPP® se mantiene un aumento progresivo de la concentración de nitrato, aún cuando el análisis estadístico arroja que no existen diferencias significativas entre 3,4-DMPP®, URAH y urea convencional, excepto a la dosis más baja de esta última y el testigo absoluto ($P \leq 0,05$). A los 120 dds se presentaron diferencias significativas en la concentración de nitrato en savia entre los tratamientos ($P \leq 0,05$) (figura 3). Las mayores concentraciones de nitrato en savia se obtuvieron en los tratamientos con URAH a las dosis 92 kg.ha⁻¹ y 115 kg.ha⁻¹ respectivamente, y el tratamiento con urea convencional a la dosis de 115 kg.ha⁻¹. El testigo absoluto muestra valores cercanos a los tratamientos antes mencionados (estadísticamente dife-

significant differences in sap nitrate concentration among treatments ($P \leq 0,05$) (figure 3). The highest concentrations of nitrate in sap were obtained in treatments with URAH at doses and the treatment with conventional urea a dose of 115 kg.ha⁻¹. The absolute witness shows values close to the treatments previously mentioned (statistical different). It is also observed how varies the content of nitrates in the treatments with the inhibitor 3.4-DMPP®; at the low dose of N the plant accumulated lower quantity of nitrogen, while at the medium dose the accumulation of the nitrate increased. The concentration of nitrate in sap shows the availability of nitrogen in the soil, which can also be affected by environmental factors such as humidity, the carbon dioxide present and the incident radiation (Kimball *et al.*, 2002).

rentes). Se observa también como varía el contenido de nitratos en los tratamientos con el inhibidor 3,4-DMPP®; a la dosis baja de N la planta acumuló menor cantidad de nitrato, mientras que a la dosis media la acumulación de nitrato aumentó. La concentración de nitrato en la savia refleja la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, la cual puede también ser afectada por factores ambientales como la humedad, el dióxido de carbono presente y la radiación incidente (Kimball *et al.*, 2002).

En los tratamientos con urea convencional se observa que a las dosis baja y media de nitrógeno, no hay variaciones significativas en los contenidos de nitrato en la savia, pero sucede lo contrario al aumentar la dosis, es decir, aumenta también el contenido de nitrato. Estos resultados muestran que en términos generales el nitrógeno en los tejidos de la planta de maíz disminuye con la edad de la planta; esto coincide con resultados para otras poaceas (Echeverría *et al.*, 2005).

En general, la concentración de nitratos en el tejido vegetal disminuyó en todos los tratamientos; a los 120 dds fue menor en todos los tratamientos; esto se debió a que la planta absorbió el nitrógeno disponible presente en el suelo. Inicialmente la absorción de N por la planta es más lenta, pero cuando se aproxima el momento de la floración, la absorción de N se incrementa rápidamente. A los 60 dds se obtuvieron menores concentraciones en el tejido vegetal; en este momento del ciclo la absorción es máxima y la planta acumula el nitrógeno en los tejidos vegetales para luego ser removilizado

In treatments with conventional urea, is observed that at the lowest and medium doses of nitrogen, there are not significant variations in the contents of nitrate in sap, but the opposite happens increasing the doses, that is, also increases the nitrate content. These results show that in general terms the nitrogen in the tissues of corn plant diminish with the plant age; this agree with the results for other poaceas (Echeverría *et al.*, 2005).

In general, the concentration of nitrate in the vegetal tissue reduced in all the treatments; at 120 dds was lower in all the treatments; this was because the plant absorbed the available nitrogen presented in the soil. Initially, the N absorption by plant is slow but when flowering is closer, N absorption increases rapidly. At 60 dds, were obtained lower concentrations in the vegetal tissues, in this moment of the cycle the absorption is maximum and the plant accumulates the nitrogen in its tissues to then be remobilize for for grain filling inside the ear.

Relation between absorption of nitrates and dry matter production (MS)

The addition of N increased the production of dry matter in all the treatments at 30 dds, obtaining highly significant differences among them ($P=0.0001$). In figure 4 is observed that the treatments with 3.4-DMPP® showed the highest values of dry matter: at the highest dose ($115 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) was obtained the highest production of dry matter ($1605 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) unlike to the treatment with conventional urea (T3) at the same dose, wich produced $1478 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; in treatments with URAH were not

para el llenado de los granos dentro de la mazorca.

Relación entre la absorción de nitratos y la producción de materia seca (MS)

La adición de N incrementó la producción de materia seca en todos los tratamientos a los 30 dds, obteniéndose diferencias altamente significativas entre ellos ($P=0,0001$). En la figura 4 se observa que los tratamientos con 3,4-DMPP® mostraron los mayores valores de materia seca: a la dosis más alta (115 kg.ha⁻¹) se obtuvo la mayor producción de materia seca (1605 kg.ha⁻¹) a diferencia del tratamiento con urea convencional (T3) a la misma dosis, en el cual se produjeron 1478 kg.ha⁻¹; en los tratamientos con URAH, no se obtuvieron diferencias en cuanto a la producción de materia seca, tanto a la dosis alta como a la dosis media.

En la figura 5, se observa que los tratamientos con 3,4-DMPP® (T5 y T6)

obtained differences regarding the production of dry matter, in both the high and medium doses.

In figure 5, are observed that treatments with 3,4-DMPP® (T5 and T6) behave the same and produce the highest quantity of dry matter; in the case of the conventional urea at all dose, were generated the lowest yields in dry matter; treatments with URAH produced less dry matter that treatments where was applied 3,4-DMPP®. Delgado *et al.* (2004) obtained similar results using urea in corn 30 and 60 dds and applying doses of 60, 90 and 120 kg.ha⁻¹.

Wilhem *et al.* (2005) indicate that the contents of N-NO₃⁻ in the soil profile affect the crop response to the application of the element and its availability for the plant; and this is directly related to dry matter production, plus, dry matter yield is widely related to the utilization of the incident solar radiation crop

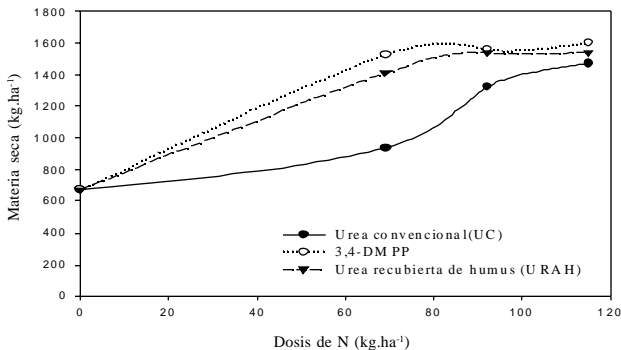


Figura 4. Relación entre la producción de materia seca (kg.ha⁻¹) y la absorción de N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) en maíz, 30 días después de la siembra.

Figure 4. Relation between dry matter production (kg.ha⁻¹) and the absorption of N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) in corn 30 days after the sow.

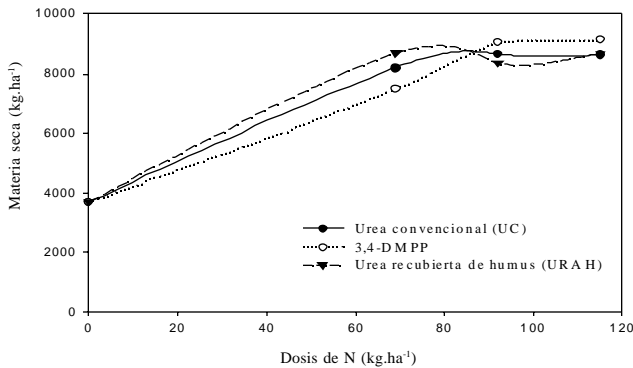


Figura 5. Relación entre la producción de materia seca (kg.ha⁻¹) y la absorción de N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) en maíz, 60 días después de la siembra.

Figure 5. Relation between dry matter production (kg.ha⁻¹) and the absorption of N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) in corn, 60 days after the sow.

se comportan igual y producen la mayor cantidad de materia seca; en el caso de la urea convencional, a todas las dosis, se generaron los menores rendimientos en materia seca; los tratamientos con URAH produjeron menos materia seca que los tratamientos donde se aplicó 3,4-DMPP®. Delgado *et al.* (2004) obtuvieron resultados similares utilizando urea en maíz, 30 y 60 dds y aplicando dosis de 60, 90 y 120 kg.ha⁻¹.

Wilhem *et al.* (2005) indican que los contenidos de N-NO₃⁻ en el perfil del suelo afectan la respuesta del cultivo a la aplicación del elemento y a su disponibilidad por la planta, y esto se relaciona directamente con la producción de materia seca; además, el rendimiento en materia seca está estrechamente vinculado con el aprovechamiento de la radiación solar incidente, de la capacidad de intercepción por el cultivo y de su eficiencia para transformarla (Goldman *et al.*, 2002); por otra parte, el índice de área foliar tam-

interception capability and the efficiency to transform it (Goldman *et al.*, 2002); on the other hand, leaf area index also be quantified with the aim of applying the optimum doses of nitrogen (Barker *et al.*, 2010) and achieve the maximum rates of crop growth. During the development of the essay, the climatic conditions favored the growth of the crop (high radiation and low cloudiness), besides of a higher plant density used (96.000 plants.ha⁻¹); higher densities of plants compensate the lost of leaf area by shadowing and represent yield advantages, due to a better quality of roots and the tolerance to other critical conditions.

In figure 6 is seen how the dry matter yield increased with crop age. Delgado *et al.* (2004) also found that in the first 60 days of the cycle it was accumulated the highest amount of dry matter. At 120 dds, were observed highly significant differences for dry matter accumulation among the

bién puede ser cuantificado con el fin de aplicar la dosis óptima de nitrógeno (Barker *et al.* 2010) y lograr las máximas tasas de crecimiento del cultivo. Durante el desarrollo del ensayo, las condiciones climáticas favorecieron el crecimiento del cultivo (alta radiación y baja nubosidad), además de una mayor densidad poblacional utilizada (96.000 plantas.ha⁻¹); densidades mayores de plantas compensan la pérdida de área foliar por sombreadamiento y representan ventajas para el rendimiento, debido a una mejor calidad de raíces y la tolerancia a otras condiciones críticas.

En la figura 6 se aprecia como el rendimiento en materia seca aumenta con la edad del cultivo. Delgado *et al.* (2004) también encontraron que en los primeros 60 días del ciclo se acu-

different treatments applied. In treatments T5 and T8 (92 kg.ha⁻¹, 3,4-DMPP® and URAH respectively) was obtained a higher production of dry matter (11.982 kg.ha⁻¹ y 11.942 kg.ha⁻¹ respectively), followed by treatments with conventional urea (T2 and T3), 3,4-DMPP® and URAH (T7 and T8) in wich were also obtained high values of dry matter yield; these values fluctuated between 10.561 kg.ha⁻¹ and 11.737 kg.ha⁻¹. The treatments with less dry matter production were conventional urea (T1), 3,4-DMPP® (T4) and the absolute witness (T0).

Delgado (2001) in a research in soils of Serie Maracay, where the treatments consisted on applying N in increasing doses: 30, 60, 90, 120 and 180 (kg.ha⁻¹) respectively, as urea, reported results of 5.868, 11.978,

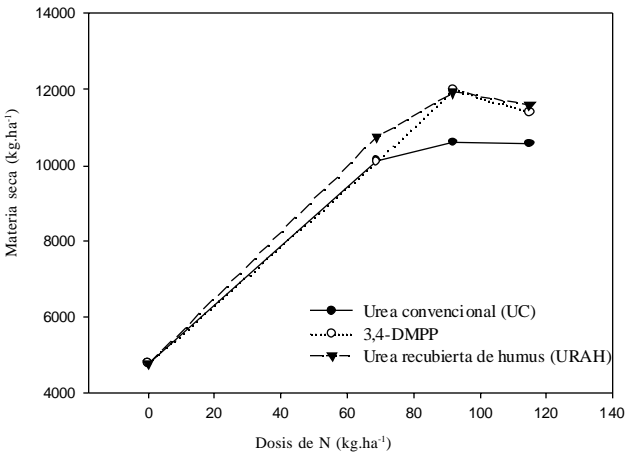


Figura 6. Relación entre la producción de materia seca (kg.ha⁻¹) y la absorción de N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) en maíz, 120 días después de la siembra.

Figure 6. Relation between dry matter production (kg.ha⁻¹) and the absorption of N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) in corn, 120 days after the sow.

mulaba la mayor cantidad de materia seca. A los 120 dds se observaron diferencias altamente significativas para la acumulación de materia seca entre los distintos tratamientos aplicados. En los tratamientos T5 y T8 (92 kg.ha⁻¹, 3,4-DMPP® y URAH respectivamente), se obtuvo una mayor producción de materia seca (11.982 kg.ha⁻¹ y 11.942 kg.ha⁻¹ respectivamente), seguido de los tratamientos con urea convencional (T2 y T3), 3,4-DMPP® (T6) y URAH (T7 y T8) en los que también se lograron altos valores de rendimiento en materia seca; estos valores fluctuaron entre 10.561 kg.ha⁻¹ y 11.737 kg.ha⁻¹. Los tratamientos en los que hubo menor producción de materia seca fueron urea convencional (T1), 3,4-DMPP® (T4) y el testigo absoluto (T0).

Delgado (2001), en una investigación en suelos de la Serie Maracay, en la que los tratamientos consistieron en la aplicación de N en dosis crecientes: 0, 30, 60, 90, 120 y 180 (kg.ha⁻¹) respectivamente, en forma de urea, reportó resultados de 5.868, 11.978, 12.076, 11.161, 12.363 y 13.027 (kg.ha⁻¹) respectivamente. Estos resultados mostraron que una adecuada disponibilidad de N, en los momentos de mayor absorción por la planta, asegura un buen crecimiento foliar, una mayor cobertura del cultivo y una alta eficiencia de conversión de luz interceptada, en biomasa; esta suplencia adecuada de N garantiza un óptimo estado fisiológico del cultivo en los momentos decisivos para la producción de materia seca y la determinación del número de granos durante el período de llenado (Uhart y Echeverría, 2002). En la figura 6 se observa además que en los tratamientos fertilizados existe una

12.076, 11.161, 12.363 and 13.027 (kg.ha⁻¹) respectively. These results showed that an adequate availability of N in the moments of higher absorption by plant, assures a good foliar grow, a better cover of the crop and a high conversion efficiency of intercepted light in biomass; this adequate nitrogen supply guarantees an optimum crop physiological stage of the crop in the decisive moments for dry matter production and the determination of the number of grains during the filling stages (Uhart and Echeverría, 2002). In figure 6 is also seen that in fertilized treatments there is a direct relation between the dry matter and applied nitrogen. Is seen a similar tendency in the behavior of treatments with 3.4 DMPP® and URAH, which obtained a higher production of dry matter unlike to the results obtained in the treatments with conventional urea.

Concentration of N-NO₃⁻ in the soil

The application of nitrogen at the moment of the sow assured the availability of N for the plant during the first 30 days of the crop cycle; Mora *et al.* (2007) found that the mineralization rate of the organic matter is a factor that affects the nitrification rate of soil; at lower content of organic matter the lixiviation process is slower due to the absence of bacteria, since the carbon or those organic compounds based on this element, are energy sources for these microorganisms.

In the studied soil, the contents of organic matter are relatively low (1.55%), therefore, it is possible that the lost of nitrates by de-nitrification

relación directa entre la materia seca y el nitrógeno aplicado. Se aprecia una tendencia similar en el comportamiento de los tratamientos con 3,4-DMPP® y URAH, en los cuales se obtuvo una mayor producción de materia seca, a diferencia de los resultados obtenidos en los tratamientos con urea convencional.

Concentración de N-NO_3^- en el suelo

La aplicación de nitrógeno al momento de la siembra aseguró la disponibilidad de N para la planta durante los primeros 30 días del ciclo del cultivo; Mora *et al.* (2007) encontraron que la tasa de mineralización de la materia orgánica es un factor que afecta la tasa de nitrificación del suelo; a menor contenido de materia orgánica, el proceso de lixiviación es más lento debido a la ausencia de bacterias, ya que el carbono o aquellos compuestos orgánicos a base de este elemento, son fuente de energía para estos microorganismos.

En el suelo estudiado, los contenidos de materia orgánica son relativamente bajos (1,55%), por lo que es posible que la pérdida de nitratos por desnitrificación no estuviese ocurriendo a una tasa elevada en ese momento. En las figuras 7 y 8 se aprecia que a ambos estadios, las pérdidas de nitratos se redujeron significativamente, sobre todo en los tratamientos con 3,4-DMPP® y URAH. Resultados similares fueron obtenidos por Ahmed *et al.* (2006) cuando evaluaron la eficiencia de la urea aplicada al suelo con cuatro tratamientos diferentes, utilizando ácidos húmicos.

También se aprecia en la figura 7 que aunque las mayores cantidades

would not be happening at a high rate by that time. In figures 7 and 8 is seen that at both stages, the lost of nitrate is significantly reduce especially in treatments with 3.4 -DMPP® and URAH. Similar results were obtained by Ahmed *et al.* (2006) when they evaluated the efficiency of urea in the soil of four different treatments, using humic acid.

It is also seen in figure 7 that even though the highest quantities of nitrate in soil were obtained in treatments with 3.4 -DMPP® at the medium dose of N (92 kg.ha⁻¹) and with URAH at medium and high doses of N (92 kg.ha⁻¹ and 115 kg.ha⁻¹), respectively, the statistical analysis did not show significant differences at 30 dds ($P>0.05$); on the contrary, at 60 dds (figure 8) there were significant differences among treatments ($P\leq 0.05$) respect to the concentration of nitrate in the soil, being better URAH at the medium dose of N (92 kg.ha⁻¹); the treatment with conventional urea at medium doses of N (92 kg ha⁻¹) behaved similarly to the treatment with 3,4-DMPP® at the low dose of N (69 kg.ha⁻¹).

In figure 8 is seen that concentrations of nitrate in the soil are higher in treatments with URAH than in treatments with 3.4-DMPP®; in this case, the delay in the nitrification rate was more efficient with URAH, probably due to the acidification of the area around the urea granule by the humus that coats it; eventually, the plant might had absorbed the ammonium presented much faster, prolonging the presence of nitrates in the soil. At 120 dds, the treatments with 3.4-DMPP® and URAH have

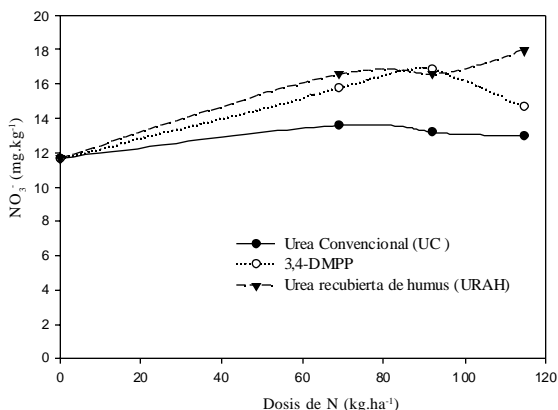


Figura 7. Cambios en la concentración de N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) en el suelo, 30 días después de la siembra del cultivo de maíz.

Figure 7. Changes in the concentration of N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) in the soil, 30 days after the sow of corn.

de nitrato en el suelo se obtuvieron en los tratamientos con 3,4-DMPP® a la dosis media de N (92 kg.ha⁻¹) y con URAH a la dosis media y alta de N (92

higher concentrations, the contrary happened with treatments with conventional urea and the absolute witness, where the nitrate

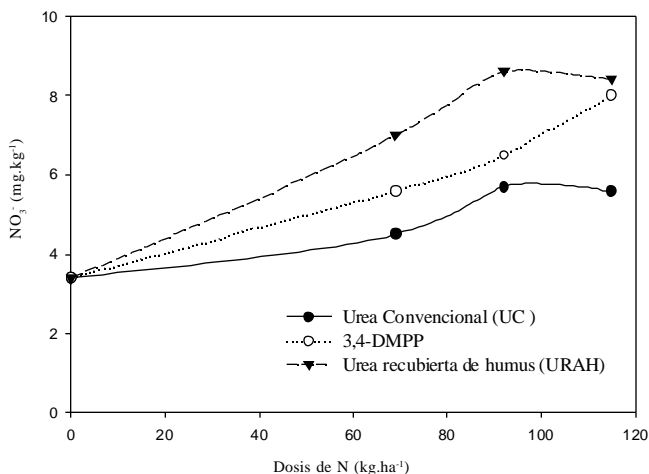


Figura 8. Cambios en la concentración de N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) en el suelo, 60 días después de la siembra del cultivo de maíz.

Figure 8. Changes in the concentration of N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) in the soil, 60 days after the sow of corn.

kg.ha⁻¹ y 115 kg.ha⁻¹), respectivamente, los análisis estadísticos no arrojaron diferencias significativas a los 30 dds ($P > 0,05$); por el contrario a los 60 dds (figura 8) si hubo diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$) con respecto a la concentración de nitrato en suelo, siendo mejor la URAH a la dosis media de N (92 kg.ha⁻¹); el tratamiento con urea convencional a la dosis media de N (92 kg.ha⁻¹) se comportó similar al tratamiento con 3,4-DMPP® a la dosis baja de N (69 kg.ha⁻¹).

En la figura 8 se aprecia que las concentraciones de nitrato en el suelo son mayores en los tratamientos con URAH que en los tratamientos con 3,4-DMPP®; en este caso, el retardo en la tasa de nitrificación fue más eficiente con la URAH, probablemente debido a la acidificación del medio alrededor del gránulo de urea por el humus que lo recubre; eventualmente, puede que la planta haya absorbido el amonio presente mucho más rápido, prolongando la presencia de nitratos en el suelo. A 120 dds los tratamientos con 3,4-DMPP® y URAH presentan mayores concentraciones, todo lo contrario sucede con los tratamientos con urea convencional y el testigo absoluto, en los que las concentraciones de nitrato fueron muy bajas. Generalmente, las concentraciones de nitrato en el suelo al momento de la cosecha son muy bajas debido al alto consumo de nitrógeno por la planta de maíz.

En la figura 9 se aprecia el comportamiento de las tres fuentes nitrogenadas aplicadas a diferentes dosis en relación al contenido de nitrato en el suelo. Los análisis estadísticos revelaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$). Se observa en esta figura que

concentrations were very low. Generally, the concentrations of nitrate in the soil at harvest are very low due to the high consumption of nitrogen per corn plant.

In figure 9 is seen the behavior of the three nitrogen sources applied at different doses in relation to the content of nitrate in the soil. The statistical analysis revealed significant differences ($P \leq 0.05$). In this figure is seen that the highest concentrations of nitrates are presented in treatments with 3.4-DMPP® and URAH at low, medium and high doses of N (69 kg.ha⁻¹, 92 kg.ha⁻¹ and 115 kg.ha⁻¹ respectively). In treatments with URAH is seen a continuous increment of the concentration at the time that increases the dose of fertilizer, as well as in treatments with 3.4-DMPP® (low and medium doses), but the opposite happens at the high dose (115 kg.ha⁻¹) where the curve presented a fall in the concentration of nitrate; this might be because the plant absorbed all the nitrate available in the soil. In figure 9, are also seen the absorption dynamic of nitrogen in the treatments with conventional urea (all the evaluated doses), which presented lower concentrations of nitrate in the soil; in the case of conventional urea, the low concentration of nitrogen in the soil must be because the added urea generally hydrolyzes and the ammonium is lost by volatilization of the ammonia (Rimski-Korsakov *et al.* 2005).

At 30 and 60 dds, is significantly reduce the lost of nitrates in all the treatments, also finding that the highest concentrations are presented in fertilized treatments with 3.4 DMPP® and URAH.

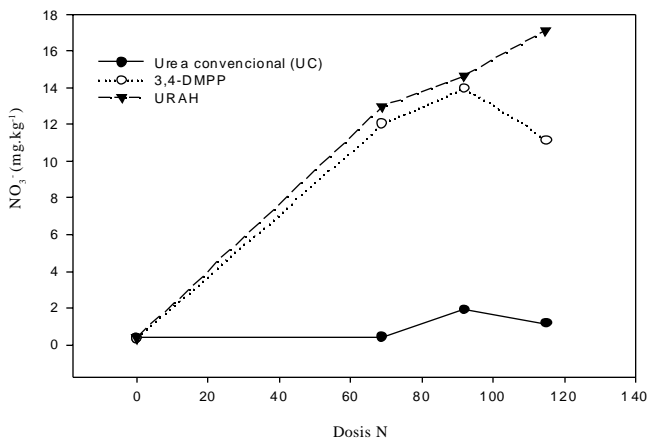


Figura 9. Cambios en la concentración de N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) en el suelo, 120 días después de la siembra del cultivo de maíz.

Figure 9. Changes in the concentration of N-NO₃⁻ (mg.kg⁻¹) in the soil, 120 days after the sow of corn.

las mayores concentraciones de nitratos están presentes en los tratamientos con 3,4-DMPP® y URAH a la dosis baja, media y alta de N (69 kg.ha⁻¹, 92 kg.ha⁻¹ y 115 kg.ha⁻¹ respectivamente). En los tratamientos con URAH se observa un ascenso continuo de la concentración a medida que aumenta la dosis de fertilizante, al igual que en los tratamientos con 3,4-DMPP® (dosis baja y media), pero sucede lo contrario a la dosis alta (115 kg.ha⁻¹) donde la curva presentó una caída en la concentración de nitrato; esto puede deberse a que la planta absorbió todo el nitrato disponible que había en el suelo. Además en la figura 9 también se aprecia la dinámica de absorción de nitrógeno en los tratamientos con urea convencional (todas las dosis evaluadas), los cuales presentaron las menores concentraciones de nitrato en el suelo; en el caso de la urea convencional la baja concentración de nitrógeno

Relation between the absorption of nitrate and grain yield

The productivity of almost all cereals, especially corn, is directly related to the efficiency of the plant in the use of nitrogen and the consistent response to the nitrogen fertilization (Ferraris and Couretot, 2010). This factor is the one that generally limits the production of corn in tropical areas, even when the addition of inorganic fertilizers to the soil might theoretically resolve this problem. In figure 10 is seen how the treatment with URAH at the high dose (115 kg.ha⁻¹) presented the best results with yields of 5.024,6 kg.ha⁻¹; the N that accumulates in the vegetative parts of the plant until flowering, distributes towards the grains in the growing process, thus, a better availability of nitrogen favors directly a higher productivity of the plant. The other treatments with

en el suelo se debe a que la urea agregada generalmente se hidroliza y el amonio se pierde por volatilización de amoníaco (Rimski-Korsakov *et al.*, 2005).

A los 30 y 60 dds se redujeron significativamente las pérdidas de nitrato en todos los tratamientos, encontrándose además que las mayores concentraciones están presentes en los tratamientos fertilizados con 3,4 DMPP® y URAH.

Relación entre la absorción de nitratos y el rendimiento en grano

La productividad de casi todos los cereales y especialmente en maíz, se relaciona directamente con la eficiencia de la planta en el uso del nitrógeno y la consistente respuesta a la fertilización nitrogenada (Ferraris y Couretot, 2010). Este factor es el que generalmente limita la producción de maíz en áreas tropicales, aún cuando la adición de fertilizantes inorgánicos al suelo pueda resolver teóricamente, este problema. En la figura 10 se observa como el tratamiento con URAH a la dosis alta (115 kg.ha⁻¹) presentó los mejores resultados, con rendimientos de 5.024,6 kg.ha⁻¹; el N que se acumula en las partes vegetativas de la planta hasta la floración, se redistribuye hacia los granos en crecimiento, por lo que una mayor disponibilidad de nitrógeno favorece directamente una mayor productividad de la planta. Los demás tratamientos con fertilizante tendieron a aumentar sus rendimientos con el incremento de las dosis, mientras que a las dosis más bajas se obtuvieron comportamientos estadísticamente similares al del testigo absoluto, con rendimientos entre 3.538,7 y 3.860,7 kg.ha⁻¹.

fertilizer tended to increase their yields with the increment of the doses, while, at lower doses were obtained statistical similar results to the absolute witness, with yields between 3.538,7 and 3.860.7 kg.ha⁻¹.

The possible competence between plants due to the density of plants used, did not affect negatively the productivity, since the climatic conditions during the crop cycle and its adequate management allowed establishing yields very close to the average values showed by this hybrid during the evaluations in the regional essays of the National Service of Seeds (2004 and 2005). To this extent, the results showed by Quiroz and Marín (2007) when evaluated the yield in grains and the efficiency of an association of corn and “quinchoncho” (*Cajanus cajan* L. Millsp) with or without fertilizer, support the results in this research, since they also obtained higher yields in plots that were treated with nitrogen fertilizer; this proves the importance of an adequate availability of N for corn crop it is also evident that treatments with URAH and conventional urea have more elevated yields at the time that increases the dose of N, the witness treatment also reached ascendant values of yield (until 92 days proximately), probably related to the content of organic matter in this soil, and the accumulation of macronutrients due to essays with fertilizers done in previous cycles and left remnants in the soil of available nutrients for the plant. Sains-Rosas *et al.* (2001) and Richmond and Rillo (2007) obtained similar results in corn.

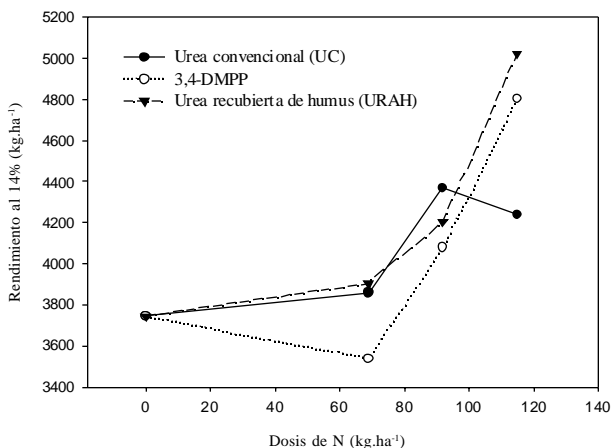


Figura 10. Rendimiento del cultivo de maíz a 14% de humedad, 120 días después de la siembra.

Figure 10. Corn yield at 14% of humidity 120 days after the sow.

La posible competencia entre plantas debida a la densidad de población utilizada, no afectó negativamente la productividad, ya que las condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo y su manejo adecuado, permitieron obtener rendimientos muy cercanos a los valores promedios mostrados por este híbrido durante su evaluación en los ensayos regionales del Servicio Nacional de Semillas (2004 y 2005). En este sentido, los resultados de Quiroz y Marín (2007) cuando evaluaron el rendimiento en granos y la eficiencia de una asociación de maíz y quinchoncho con o sin fertilizantes, apoyan los resultados de este estudio, ya que también obtuvieron mayores rendimientos en las parcelas que fueron tratadas con fertilizantes nitrogenados; esto ratifica la importancia de una adecuada disponibilidad de N para el cultivo de maíz; es evidente también que los tratamientos con

Relation between the absorption of nitrates, number of rows in the ear and number of grains in the row

The corn might redistribute the nitrogen that is in the vegetative areas to favor the filling of grains in the ear (source-sink relation). In table 3 can be seen the values obtained for the number of rows and the number of grains in the ear in all the evaluated treatments, there were not found statistical differences between the treatments; nevertheless, it was observed that the treatment with URAH at the high dose, tends to a higher number of rows in the ear, but with a lower number of grains, compare to the other treatments, including the absolute witness (between 14.8 and 15.7 rows). Treatments with UC low dose and 3.4-DMPP[®] high dose obtained higher number of grains but lower number of rows; this indicates

URAH y urea convencional presentan rendimientos más elevados a medida que aumenta la dosis de N; el tratamiento testigo también alcanzó valores ascendentes de rendimiento (hasta los 92 días aproximadamente), probablemente relacionados con el contenido de materia orgánica de este suelo, y la acumulación de macronutrientes debida a ensayos con fertilizantes realizados en ciclos anteriores y que dejaron remanentes en el suelo de nutrientes disponibles para la planta. Sainz-Rozas *et al.* (2001) y Richmond y Rillo (2007) obtuvieron resultados similares en maíz.

Relación entre la absorción de nitratos, número de hileras en la mazorca y el número de granos en la hilera

El maíz puede redistribuir el nitrógeno que se encuentra en las partes vegetativas para favorecer el llenado de los granos en la mazorca (relación fuente-sumidero). En el cuadro 3 se pueden apreciar los valores para el número de hileras y el número de granos en la mazorca obtenidos en todos los tratamientos evaluados; no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos; no obstante se observó que el tratamiento con URAH a la dosis mayor, tiende a un mayor número de hileras en la mazorca pero con menor número de granos, en comparación a los demás tratamientos, incluyendo al testigo absoluto (entre 14,8 y 15,7 hileras). Los tratamientos con UC dosis baja y 3,4-DMPP® dosis alta obtuvieron mayor número de granos pero menor número de hileras; esto indica que un mayor número de hileras en las mazorcas no significa ma-

that a higher number of rows in the ears do not mean a higher number of grains per row. For this last variable were not found either significant statistical differences between treatments, Regarding to the yield components evaluated weight of a grain and average weight of the ear, the statistical analysis did not show significant differences, therefore, all the reported treatments were similar among them. The weather factors, especially the high radiation during the crop cycle (table 4) allowed the plant to do a more efficient use of the light and a better distribution of N from the superior vegetative parts for grain filling.

Conclusions

The inhibitor of the nitrification (3,4-DMPP®) and the urea coated with humic acids (URAH) were more effective in the delay of the nitrification rate and the highest availability of N to be absorbed by the plant (30 and 60 dds), at the lowest dose of nitrogen. At 120 dds, the content of nitrate in sap was low, due to the high absorption in the previous phase. The absorption of nitrogen favored the production of dry matter; the inhibitor 3,4-DMPP® allowed the highest dry matter yield at the highest dose at 30 dds. The conventional urea favored the lost of nitrogen and the absorption by the plant was lower. The 3,4-DMPP® and URAH significantly reduced the lost of nitrogen in the soil at 30 dds, at medium and high doses of nitrogen. URAH at 60 dds allowed the highest concentrations of nitrate in the soil at medium doses of nitrogen. The periods

Cuadro 3. Valores promedio para las variables número de hileras y número de granos en la mazorca de maíz, para cada tratamiento. UC: Urea Convencional; 3,4-dimetilpirazol fosfato; URAH: Urea recubierta de ácidos húmicos.

Table 3. Average values for the variables: number of rows and number of grains in the corn ear for each treatment. UC: Conventional urea; 3-4-phosphate dimetilpirazol; URAH: urea coated with humic acids.

Tratamientos	Número de hileras en la mazorca	Número de granos en la hilera
T0	15,7	36
UC T1	15	40
UC T2	15,5	37,8
UC T3	15,4	40,6
3,4-DMPP® T4	14,8	38,7
3,4-DMPP® T5	15	37,6
3,4-DMPP® T6	15,4	40
URAH T7	15,5	36,7
URAH T8	14,8	38,1
URAH T9	16,8	39,1
Tukey 5%	ns	ns

por número de granos por hileras. Para esta última variable tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Con respecto a los componentes del rendimiento evaluados peso de un grano y peso promedio de la mazorca, los análisis estadísticos no arrojaron diferencias estadísticamente significativas, de manera que todos los tratamientos reportaron resultados muy similares entre ellos. Los factores de clima, especialmente la alta radiación durante el ciclo del cultivo (cuadro 4) le permitió a la planta realizar un uso más eficiente de la luz y una mejor redistribución del N desde las partes vegetativas superiores para el llenado de los granos.

of higher absorption by plants, are related to the reduction of the nitrogen concentrations in the soil. At 120 dds, the treatments with higher concentration of nitrate in the soil were fertilized with 3.4-DMPP® and URAH.

End of english version

Conclusiones

El inhibidor de la nitrificación (3,4-DMPP®) y la urea recubierta con ácidos húmicos (URAH) fueron más efectivos en el retardo de la tasa de nitrificación y la mayor disponibilidad de N a ser absorbido por la planta (30 y 60 dds), a la dosis más baja de nitró-

Cuadro 4. Condiciones de tiempo atmosférico en la Estación Climatológica del Campus Maracay. Serial: 9319; Latitud: 10°16'20" N; Longitud: 67°36'35" W; Altitud: 443 msnm. Marzo-Junio 2009.

Table 4. Conditions of Atmospheric time in the Weather Station of Maracay Campus. Serial: 9319; Latitude: 10°16'20" N; Longitude: 67°36'35" W; altitude: 443 masl.

Factor de clima	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación (MJ m ² d ⁻¹)	13,8	13,3	12,2	11,24
Insolación (h)	6,0	6,9	5,1	3,4
Temperatura media (°C)	26,4	27,6	27,2	27,11
Humedad relativa máxima (%)	92,4	94,0	97,0	44,0
Humedad relativa mínima (%)	39,0	38,0	43,0	44,0
Nubosidad (en octavos)	3,3	3,0	3,7	4,0

Fuente: Servicio de Climatología Agrícola "Luis Bascones". Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 2009.

geno. A los 120 dds el contenido de nitrato en la savia fue bajo, debido a la alta absorción en la fase anterior. La absorción de nitrógeno favoreció la producción de materia seca; el inhibidor 3,4-DMPP® permitió el mayor rendimiento en materia seca a la dosis más alta a los 30 dds. La urea convencional favoreció las pérdidas de nitrógeno y la absorción por la planta fue menor. El 3,4-DMPP® y la URAH redujeron significativamente las pérdidas de nitrógeno en el suelo a 30 dds, y a las dosis media y alta de nitrógeno. La URAH, a los 60 dds permitió las mayores concentraciones de nitrato en el suelo a la dosis media de nitrógeno. Los períodos de mayor absorción por la planta se relacionan con la disminución de las concentraciones de nitrógeno en el suelo. A los 120 dds, los tratamientos con mayor concentración de nitrato en el suelo fueron los fertilizadores con 3,4-DMPP® y URAH.

Literatura citada

- Ahmed, O.H., H. Aminuddin y M. Husni. 2006. Reducing ammonia loss from urea and improving soil-exchangeable ammonium retention through mixing triple superphosphate, humic acids and zeolite. *Soil and Use Management* 22(3): 315-319.
- Barker, D.W. y J.E. Sawyer. 2010. Using active canopy sensors to quantify corn nitrogen stress and nitrogen application rate. *Agronomy Journal* 102(3): 964-971.
- Casanova, E. 2008. Introducción a la ciencia del suelo. Quinta edición. Universidad Central de Venezuela-Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 482 p.
- Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios (Fedegro). 2009. Estadísticas Económicas de Producción de Cereales. Disponible en: URL: <http://www.fedegro.org/economia/pib%20general.asp>. Fecha de consulta: (01/02/2010).

- Cuadernos Agronomía. 1993. Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el Laboratorio General de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Año 1 N° 6. Venezuela. 89 p.
- 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. *Agronomía Tropical* 51(3): 387-403.
- Delgado, R., U. Núñez y L. Velásquez. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de nitrógeno, fósforo y potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada. *Agronomía Tropical* 54 (4): 371-390.
- Echeverría, H., P. Barbieri, H. Sainz Rozas y F. Covacevich. 2005. Fertilización nitrogenada y métodos de diagnóstico de requerimiento de nitrógeno en trigo. *Informaciones Agronómicas* (26): 8-15.
- Ferraris, G.N. y L.A. Couretot. 2010. Predicción de la respuesta a nitrógeno en maíz, utilizando el medidor de clorofila n-tester. *Artículos Técnicos-Agricultura*. INTA-EEA. Buenos Aires. Argentina. Disponible en: <http://www.engormix.com/MÁ-agricultura/maiz/articulos/prediccion-respuesta-nitrogeno-maiz>. Fecha de consulta: (02/12/2010).
- Goldman, M.V., H.E. Echeverría, F. Andrade y S. Uhart. 2002. Incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de nutrientes en maíz. *Ciencia del Suelo* 20: 27-35. Argentina.
- Kimball, B.A., K. Kobayashi y M. Bindi. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy* (77): 293-368.
- Mora, S., F. Gavi, J. Peña, J. Pérez, L. Tijerina y H. Vaquera. 2007. Desnitrificación de un fertilizante de lenta liberación y urea+fósforo monoamónico, aplicados a trigo irrigado con agua residual o de pozo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 23 (1): 25-33.
- Navarro, S y G. Navarro. 2003. *Temas de Química Agrícola*. Ed. Academia S.L. León. España. 601 p.
- Quiroz, A.Y. y D. Marín. 2007. Eficiencia de uso de N-P-K en una asociación de maíz (*Zea mays* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) con o sin fertilización. *Bioagro* 19 (2): 61-68.
- Richmond, P. y S. Rillo. 2007. Caracterización de la dinámica de incorporación de residuos de cosecha al suelo en un sistema agrícola en siembra directa en el centro-oeste de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas* (43): 22-26.
- Rimski-Korsakov, H., C. Álvarez, M. Rodríguez y R. Lavado. 2005. Predicción de los nitratos a cosechas de maíz en la Región Pampeana (Argentina). *Informaciones Agronómicas* (27): 14-17.
- Sainz Rozas, H., H. Echeverría, E. Herfurth y G. Studdert. 2001. Nitrato en la base del tallo de maíz. II: diagnóstico de la nutrición nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 19: 125-136.
- Solórzano, P.R. y M. Rengel. 2004. Crecimiento, nutrición y fertilización de cereales en Venezuela: arroz, maíz y sorgo granífero. Ediciones de Agroisleña C.A. Venezuela. 152 p.
- Uhart, S.A. y H.E. Echeverría. 2002. Diagnóstico de la fertilización: bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. En: F.H. Andrade y V.O. Sadras Editores. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 443 p.
- Wilhem, W.W., G.E. Varvel y J.S. Schepers. 2005. Corn stalk nitrate concentration profile. *Agronomy Journal* 97 (6): 1502-1507.
- Yadav, R., R. Chaturvedi, S. Dubey, P. Joshi y P. Minhas. 2003. Potentials and hazards associated with sewage irrigation in *Haryana*. *Indian Journal of Agricultural Science* 73: 249-255.