

Epoca de aplicación y tipo de fertilizante nitrogenado sobre el patrón de acumulación de materia seca y nitrógeno del maíz en un Ultisol y un Mollisol de Venezuela¹

Rodolfo Delgado*, Lorenzo Velásquez** y Evelyn Cabrera de Bisbal*

RESUMEN

La producción de maíz, *Zea mays* L., y utilización de nitrógeno puede ser afectada por el tipo y época de aplicación del fertilizante nitrogenado, condiciones climáticas, y propiedades físico-químicas de los suelos. En este experimento se evaluó la respuesta del maíz a la aplicación de 120 kg N ha⁻¹ aplicada en la forma de urea, nitrato de amonio (NA), y una fuente amoniacal (10-26-26), y a la época de aplicación del reabono en un suelo ácido de baja fertilidad (Ultisol), y en un suelo de alta a mediana fertilidad de pH neutro a alcalino (Mollisol) de El Pao y Turén, respectivamente, representativos de áreas donde normalmente se cultiva maíz en Venezuela. Generalmente se observó mayor producción de materia seca (MS), y absorción de N con la aplicación de NA. En el Mollisol la aplicación de toda la dosis de N a la siembra, y reabono a los 15 días (aplicación temprana) permitió mayor absorción de N que la aplicación tardía del fertilizante (reabono a los 25 y 35 d).

Palabras Clave: Fraccionamiento de N; *Zea mays*; absorción de N; El Pao; Turén; Venezuela.

Summary

Types of N sources, and time of N-fertilizer application could affect N use and yield production of maize, *Zea mays* L. In this experiment, maize response to application of 120

kg N ha⁻¹ applied as urea, ammonium nitrate (AN), and an ammonium source (10-26-26), and time of application of the sidedress was evaluated in an Ultisol and in a Mollisol of Venezuela. Normally there were more dry matter production, and N uptake under NA. In the Mollisol, early application of the N dose (the whole N at sowing or side dressing at 15 days) allowed more N uptake by the crop than late application of the element (sidedressing at 25 and 35 days).

Key Words: N fertilizers; *Zea mays* L.; N sources; N split; dry matter; N uptake.

RECIBIDO: julio 28, 2003.

INTRODUCCIÓN

Factores como tipo y época de aplicación del fertilizante nitrogenado (Monelik et al., 1994) afectan la producción de maíz, *Zea mays* L., y recuperación de N, al afectar la disponibilidad del elemento en los períodos donde el cultivo lo requiere en mayor proporción. La determinación del patrón de acumulación (PA) y absorción de nutrimentos, en diferentes períodos de crecimiento de los cultivos, podrían ser de utilidad en la determinación de las épocas más apropiadas de fertilización, y aplicación de nutrimentos, y con ello incrementar la eficiencia de su utilización e incremento en la producción de los cultivos. Stecker et al. (1993) encontraron en maíz cultivado en diferentes sistemas de rotación y labranza, que la producción fue mayor cuando se aplicó nitrato de amonio (NA), en comparación con fertilizantes basados en urea. Fox et al. (1986), y Power et al. (1972) observaron que con NA, y sulfato de amonio (SA), respectivamente, hubo mayor producción de grano, N absorbido y concentración de N en la hoja que con el empleo de urea. Sin embargo, FAO (1980), en estudios de utilización de N aplicado como urea, NA, y SA por maíz, trigo y arroz encontraron pequeñas diferencias en la absorción del elemento, si los fertilizantes son aplicados de acuerdo a sus limitaciones, tales como incorporación de las fuentes como urea, y SA. Se ha encontrado que el fraccionamiento de la dosis de N, afecta el patrón de absorción del elemento durante el ciclo del cultivo (CC), aunque no la cantidad total de N absorbido, y que la aplicación de N 6 semanas después de la siembra redujo el rendimiento (Reeves et al., 1993). La FAO (1980), en estudio de épocas de

aplicación del reabono encontró que la aplicación al momento de floración femenina, o después de ella, fue menos efectiva que la aplicación temprana del fertilizante. Sin embargo, en otros estudios se ha encontrado que el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado no afectó la producción de grano, y absorción de N aplicado (Jokela y Randall, 1997; Randall et al., 1997), y/o que la aplicación tardía del N sólo afecta ligeramente la producción de materia seca (MS; Jokela y Randall, 1989). Otros factores como déficit y/o excesos de agua durante el CC, y propiedades o características del suelo como pH, disponibilidad de nutrimentos, entre otros, afectan la utilización del N por el cultivo y la eficiencia de utilización de las diferentes fuentes de N. En este estudio se evaluó el efecto de diferentes tipos, y épocas de aplicación de fertilizantes nitrogenados en la producción MS y absorción de N, y su relación con algunas características edafo-climáticas de los sitios evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un suelo Fluventic Haplustoll, y un Typic Haplustul de los estados Portuguesa y Cojedes, respectivamente, los cuales habían estado previamente en barbecho y pastura natural por períodos de 8 y 15 años, respectivamente. En el Cuadro 1 se indica las características principales de los sitios experimentales. Los dos sitios experimentales se encuentran en la zona de vida de bosque seco tropical (Ewel et al., 1968). Turén está ubicado 9° 15' latitud N, y 69° 6' longitud oeste, y El Pao 8° 30' latitud norte, y 67° 45' longitud oeste. En cada uno de los sitios experimentales se evaluó la respuesta del cultivo maíz (híbrido PB-8) a la aplicación de 120 kg N ha⁻¹, en la forma de urea (46% N), NA con 35% de N, y una fórmula completa (10-26-26) con N en la forma amoniacal (10% N, 26 % de P₂O₅ y K₂O, respectivamente), y el fraccionamiento de la dosis de N. En este último aspecto se evaluó la aplicación de la dosis de N: 1) toda la dosis de N al momento de la siembra; 2) 2/3 de la dosis de N al momento de la siembra y 1/3 como reabono a los 15 d; 3) similar al 2, pero el reabono a los 25 d; 4) similar al 2, con reabono a los 35 d. En los casos de reabono, el fertilizante se aplicó, y cubrió en una zanja de 5 cm de profundidad alejada aproximadamente 10 cm del hilo de siembra. La dosis de N empleada (120 kg N ha⁻¹) es la dosis normalmente recomendada para maíz en Venezuela, y proviene de estudios previos de evaluación de dosis de N (González et al., 1977; González y Vonasek, 1974). Se empleó un diseño de bloques completamente aleatorizados, con 4 repeticiones por

tratamiento. Las parcelas experimentales fueron de 13 * 2,4 m (31,2 m²) con 5 hilos de siembra a 0,8 m entre hilos en los dos sitios experimentales, con aproximadamente 50.000 plantas ha⁻¹. Al momento de la siembra se incorporó al suelo, junto con la fuente de N, y en cada uno de los tratamientos evaluados 120, y 90 kg ha⁻¹ de P y K en la forma de superfosfato triple (SFT, 46% P₂O₅) y cloruro de potasio (KCL; 60% K₂O). En diferentes períodos del CC, se determinó la producción de MS, y absorción de N. Para ello se muestreo un área de 1 m², lo cual corresponde a 5 plantas m⁻², en los hilos alrededor del área central de la parcela, cada 15 días después de la siembra (DDS). Simultáneamente, en las parcelas donde se cosechó MS, se extrajo los contenidos de N mineral (N-NO₃, y N-NH₄) en KCl 2M (Bremner, 1965), y se determinó el contenido de humedad del suelo cada 10 cm hasta 50, y 40 cm de profundidad en El Pao, y Turén, respectivamente. El N mineral se determinó por el método del salicilato y nitro- prusiato por flujo continuo (Alves et al.,1994), y el contenido de humedad se realizó por gravimetría. En cada uno de los sitios experimentales se midió la precipitación acumulada en períodos semanales, para lo cual se instaló un pluviómetro en cada sitio. La información luego se integró en precipitación acumulada en períodos de 15 d. La determinación del índice de agua disponible (ÍAD) según Grant et al. (1989), en diferentes etapas del CC, se calculó como la relación entre el agua extractable en un momento determinado (diferencia entre el contenido de humedad en un momento determinado y el contenido de humedad en el punto de marchites permanente), y el agua potencialmente extractable (contenido de humedad entre capacidad de campo y punto de marchites permanente, PMP). Los contenidos de humedad a capacidad de campo y PMP para cada uno de los horizontes en los dos sitios evaluados, se indican en el [Cuadro 1](#). La determinación de MS, grano, y N total extraído al final del CC se realizó en una área de 7,2 m² (54 plantas m²) en los hilos centrales de las parcelas experimentales. El análisis de N en el tejido fue según el de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982). La evaluación de diferencias significativas en producción de MS, y nitrógeno extraído debido a fuentes de N y época de aplicación individuales se evaluó mediante Tukey ($\alpha=0,1$), a través del procedimiento GLM de SAS (1998). Para evaluar el efecto de aplicaciones tempranas y tardías (épocas de aplicación, y tipo de fertilizante) en la producción de MS y grano, y de N absorbido, se utilizó el análisis de contrastes de los tratamientos agrupados por tipo de fertilizante y época de aplicación, mediante el procedimiento GLM de SAS (1998). Se consideró que existía diferencias significativas si el p-value era menor o similar a 0,1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad en el suelo y el ÍAD en El Pao, estuvo en promedio de los horizontes hasta 50 cm de los tratamientos donde todo el fertilizante de cada fuente evaluada se aplicó a la siembra, decrecieron desde 17,5-14,1% en los primeros 14 DDS, a 8,9% y 10,9% a los 64 y 77 DDS donde ocurre floración y llenado de grano de maíz ([Cuadro 2](#)). La variación en el contenido de humedad del suelo reflejó el patrón de precipitación durante el CC, donde sólo el 20,2% (126,9 mm) del total de precipitación ocurrió en el período de floración y llenado de grano (luego de 64 días) cuando el cultivo es muy susceptible a déficit hídrico (Waldren, 1983; [Cuadro 2](#)). Los ÍAD durante el CC ([Cuadro 2](#)), fluctuó entre 0,51 y 0,35 en los primeros 27 DDS, y 0,2 a los 64-77 d. Estos últimos ÍAD están en el rango crítico (0,2-0,3) según Grant et al. (1989), sugiriendo que hubo estrés de humedad en etapas críticas de floración y llenado de grano. Los índices de estrés durante las primeras etapas del CC, aunque no alcanzaron el rango crítico, pudo afectar la transpiración y/o consumo de agua (Ritchie, 1981), y con ello absorción de N. Carcova et al. (1998) indica que contenidos de agua extractable inferior al 60% del agua disponible puede afectar la absorción de la misma. En Turén, la humedad del suelo entre 0 y 40 cm, promedio de los tratamientos donde todo el fertilizante se aplicó a la siembra ([Cuadro 2](#)), decreció desde 24,4% en el momento de la siembra, hasta 16,1% a los 30 d. Estos últimos valores fueron los más bajos durante el CC, y estuvieron en el rango del PMP (9 y 16%) para este sitio experimental ([Cuadro 1](#)). Luego de los 30 d, los contenidos de humedad fluctuaron entre 22,1% a los 45 d, y 29,7% al final del CC, lo cual corresponde al 62-81% de capacidad de campo (37%) de este suelo ([Cuadro 1](#)). Los ÍAD fluctuaron entre 0,16 y 0,71 ([Cuadro 2](#)), con valores cercanos al rango crítico (0,2-0,3) entre los 15 y 30 d. Estas bajas fracciones de agua extractable, similar a como se indicó para El Pao, posiblemente afectó el crecimiento del ÁF, fotosíntesis, y transpiración, y con ello la absorción de N que mayormente ocurre por flujo masal. Debreczeni (2000), observó mayor absorción de N a contenidos de humedad equivalentes a 80% de la capacidad de campo que a 65% de la misma. Los bajos contenidos de agua disponible en Turén entre los 15 y 30 d posiblemente afectó la absorción de N por el cultivo (en promedio de todos los tratamientos la absorción de N fue casi un medio de la absorción observada en El Pao). En sus trabajos Delgado (2002) señaló que las máximas tasas de absorción de N por el mismo híbrido de maíz ocurre en los primeros 45 DCC. Contrariamente los bajos contenidos de humedad en El Pao ocurrieron en la etapa de

floración y llenado de grano, lo cual posiblemente no afectó la absorción de N, pero si la acumulación de MS. Waldren (1983) indica la notable sensibilidad del maíz a déficit hídricos durante la etapa de floración y llenado de grano. Patrón y la tasa de acumulación (TA) de MS y N, y respuesta a la aplicación de diferentes tipos y época de aplicación en el suelo Typic Haplustul, a excepción de la diferencia significativa ($\alpha=0,1$) en producción de MS a los 75 d entre el tratamiento sin fertilizar (10.154 kg ha⁻¹) y el tratamiento donde toda la fórmula se aplicó a la siembra (14.567 kg ha⁻¹), y en el N total absorbido a los 45 d entre el tratamiento de aplicación de N en la fórmula con reabono a los 15 d (127,9 kg ha⁻¹) y el tratamiento sin fertilizar (64,1 kg ha⁻¹), no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de tipo y época de aplicación del N. De igual manera no se observaron diferencias significativas en producción de grano y N extraído en grano entre los tratamientos evaluados. La producción de grano fluctuó entre 3.836 y 2.811 kg ha⁻¹ para los tratamientos donde toda la urea y NA se aplicó a la siembra, y la absorción de N fluctuó entre 43 y 24,7 kg ha⁻¹ en los tratamientos donde toda la urea aplicada a la siembra, y con fórmula con 2/3 al reabono a los 15 d. En la [Figura 1](#) se presenta la acumulación de MS y N, promedio de todos los tratamientos. El modelo cuadrático se ajustó considerando para cada época de muestreo el promedio por cada tratamiento: en cada muestreo existió 12 puntos uno por cada tratamiento. Los modelos de regresión cuadrático explican entre un 93 y 94% de la variación en la acumulación de MS y N absorbido en función del tiempo desde la siembra. Estos modelos de regresión son significativos, con valores de F (radio entre cuadrado medio del tratamiento y cuadrado medio del error) significativos que fluctúan entre 516 y 477 para MS y N absorbido, respectivamente. Es posible que incrementos en el contenido de N mineral del suelo en los primeros 7 DCC, que alcanzaron cantidades acumulados en los primeros 50 cm del suelo de hasta 163 kg N ha⁻¹ en el tratamiento sin fertilizar, y hasta 390 kg N ha⁻¹ en el tratamiento donde toda la urea y NA se aplicó a la siembra, lo que contribuyó a que no se visualizara el efecto de los tratamientos en este sitio. El incremento neto en el contenido de N fue de 48 y 254 kg N ha⁻¹ para el tratamiento sin fertilizar y el fertilizado (urea y NA aplicada toda a la siembra), respectivamente. Aproximadamente 60% de la MS se acumuló en los primeros 60 DDC, con TA máximos de 440 kg ha⁻¹ d⁻¹ entre 35-45 d. Esta acumulación relativa, y TA son superiores a la acumulación relativa de 50% en el mismo período, y TA señaladas por Delgado (2002) para el mismo híbrido de maíz. Sin embargo, las TA de MS disminuyeron drásticamente

luego de 45 d, y fueron inferiores a las observadas por Delgado (2002), lo cual podría estar asociado a déficit de humedad, o de N asociados al déficit de humedad, como se discutió anteriormente. A los 75 DDS se acumuló, en promedio de todos los tratamientos ([Figura 1B](#)), el 100% del N total absorbido ($174,1 \text{ kg ha}^{-1}$), con acumulaciones parciales de 62 y 79% a los 45 y 60 d, respectivamente, coincidiendo con Delgado (2002), quien observó que 70% del N absorbido ocurrió en los primeros 45 d. Las más elevadas tasas de absorción de N ($3,3$ y $3,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) fueron observadas en el período 15-30 y 30-45 d, y las más bajas en los períodos 0-15 ($0,12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), 45-60 ($1,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), y 60-75 d ($2,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) como se observa en la [Figura 1B](#). Sin embargo, las TA de N, indicadas anteriormente, aún las más elevadas, son inferiores a las observadas por Delgado (2002), las cuales fluctuaron entre $3,0$ y $8,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, lo cual podría estar asociado a los déficit de humedad detectadas mediante el ÍAD, como se indicó en el [Cuadro 2](#), sugiriendo que déficit de humedad pudieron afectar la acumulación de N. Por otra parte, debido a que los déficit de agua en el suelo en el período de floración y llenado de grano, etapas del crecimiento del cultivo sumamente sensibles a déficit hídricos (Waldren, 1983), los cuales se reflejaron por los bajos ÍAD que fluctuaron entre $0,03$ y $0,26$ entre los 55 y 67 d ([Cuadro 2](#)) pudieron afectar notablemente la producción de grano, y posiblemente las bajas tasas de absorción de N no se reflejaron en la producción de grano y de MS. En relación con la respuesta del cultivo al tipo y época de aplicación del fertilizante, evaluado mediante análisis de contrastes de tratamientos agrupados por tipo y época de aplicación del mismo, debido a que no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos individuales, con las excepciones indicadas anteriormente, sólo se constataron diferencias significativas ($P < 0,1$) en el N total absorbido por el cultivo entre los tratamientos urea y NA (102 y 120 kg ha^{-1} , respectivamente) a los 45 DDS (promedios a través de época de aplicación de N), asociado a una significativa ($\alpha = 0,1$) más elevada TA del elemento en el período 35-45 d ($4,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) en el tratamiento con NA en relación al tratamiento con urea ($3,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Lo antes indicado concuerda con Touchton y Hargrove (1982), y Whitehead y Raistrick (1990) quienes encontraron que la eficiencia de recuperación de N del NA es mayor que la recuperación de N de la urea. Esta más elevada absorción de N entre los 35-45 d en el tratamiento con NA coincidió con una significativa ($\alpha = 0,1$) más elevado contenido de N mineral acumulado en el perfil del suelo donde se aplicó NA al inicio del período 35-45 d. Aunque los contenidos de N mineral para los diferentes tipos de fertilizantes, promediados

por época de aplicación, normalmente fueron más elevados con la aplicación de NA sólo fueron significativamente superiores que con la aplicación de urea en el período indicado. En la [Figura 2A](#) se presentan los contenidos acumulados de N mineral para los tratamientos urea y NA promediados por épocas de aplicación en cada época de muestreo. Se realizó el análisis sólo para los tratamientos con urea, y NA porque el reabono en estos tratamientos fue utilizado con esas mismas fuentes, no así para el tratamiento con fórmula 10-26-26 donde el reabono se realizó con urea. La volatilización de NH_3 en el tratamiento de aplicación de urea podría ser una vía de pérdida del N aún en El Pao donde el pH de la capa superficial es de 5,6 ([Cuadro 1](#)), como se sugiere de Whitehead y Raistrick (1990). Un análisis de la dinámica del N mineral en el suelo, en los tratamientos donde toda la dosis del elemento se aplicó al momento de la siembra ([Figuras 2 C](#), y 3 C) denotan que en El Pao el incremento en el N mineral en el tratamiento donde fue administrado la fórmula completa parece ser inicialmente retardado en relación con los tratamientos de urea y NA, lo cual posiblemente refleja cambios en el pH del suelo y una posible inhibición de la actividad biológica, debido a la hidrólisis de la urea. Sin embargo, luego de los 21 d el comportamiento en la dinámica del N mineral es similar al observado para las otras fuentes de N evaluadas. La acumulación de MS y N, y respuesta a la aplicación de diferentes tipos y época de aplicación del elemento en el suelo Fluventic Haplustoll estuvo basada en la máxima producción de MS (100% del total producida), promedio de todos los tratamientos fertilizados, se observó a los 90 d ([Figuras 3A](#) y [3C](#)). Las TA de MS durante el CC, fluctuaron entre 3,2 y 189,1 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ con valores mínimos y máximos en los períodos 0-15 y 45-60 DDS ([Figuras 3A](#) y [3C](#)). Para N la máxima absorción de N, promedio de los tratamientos fertilizados, fue 72,9 kg ha^{-1} a los 90 d ([Figuras 3B](#) y [3D](#)), aunque el PA del elemento indica que entre el 72 y 89% del N fue absorbido a los 45 y 60 d, respectivamente ([Figuras 3B](#) y [3D](#)). La tasa de absorción de N fluctuó, durante el CC, entre 0,1 y 1,8 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ con mínimas y máximas en los períodos 0-15 y 15-30 DDS, respectivamente. Aunque la mayor producción de MS y absorción de N durante el CC, generalmente se observó en los tratamientos donde se aplicó NA, diferencias entre algunos de los tratamientos fertilizados no fueron consistentes, y sólo fueron significativos ($\alpha=0,1$) durante los primeros 60 DCC. En el [Cuadro 3](#) se presenta la MS y N absorbido a los 45, 60 y 90 d donde la mayor proporción de estos ocurrió, y la producción de grano, donde se evidencia el efecto de los tratamientos. El tratamiento sin fertilizar normalmente presentó los valores

más bajos de N absorbido durante el CC ([Cuadro 3](#)), aunque el mismo sólo fue significativamente ($\alpha=0,1$) inferior a los tratamientos fertilizados con urea o fórmula en algunos de los períodos del CC. En Turén la respuesta del cultivo a la fuente y época de aplicación del elemento, a diferencia de lo observado en El Pao, podría asociarse a la menor cantidad inicial del elemento disponible en el suelo, y de la mineralización de las formas orgánicas del mismo. El contenido de N mineral inicial estuvo en el orden de 82 kg N ha^{-1} entre 0-40 cm. El tratamiento en Turén con 0 kg N ha^{-1} , el N mineral del suelo disminuyó desde 82 kg N ha^{-1} hasta 45 kg N ha^{-1} en los primeros 15 d, y hasta 47 kg N ha^{-1} a los 30 d. Esta disminución esta asociada en parte a la disminución del contenido de humedad, la cual varía en promedio entre 0-40 cm desde 24% hasta 19 y 16% a los 15, y 30 d, respectivamente. La disminución de N (aproximadamente 37 kg N ha^{-1}) a los 15 d no se ve compensado por la absorción de N por el cultivo sin fertilizar ($0,4$ y $4,0 \text{ kg N ha}^{-1}$ a los 15 y 30 d, respectivamente) lo que es inferior al N faltante. Esto sugiere que pudo ocurrir pérdidas del elemento por volatilización u otra vía, lo cual es probable en estos suelos de elevado pH. Así mismo, los bajos contenidos de humedad en el suelo pudieron afectar la actividad biológica, posiblemente la inmovilización y con ello la disminución del N mineral. La disminución del N mineral en el período 15-30 d, es evidente en todos los tratamientos aún en los fertilizados con fraccionamiento del elemento y/o cuando toda la dosis de N se aplicó a la siembra, y en todos los casos el N absorbido por el cultivo y en ese período no explica el N faltante, sugiere que posiblemente parte del N se pierde del sistema. Debido a los bajos contenidos de humedad en el suelo, y elevado pH, la pérdida de N por volatilización parece ser una vía en esas pérdidas. Las bajas tasas de absorción de N en Turén, independientemente del tipo de fertilizante y época de aplicación del reabono, comparadas con las observadas en El Pao, y a las indicadas por Delgado (2002), sugiere que las mismas pueden haber sido afectadas por otros factores como los contenidos de humedad del suelo en el período 0-45 d como se indicó anteriormente ([Cuadro 2](#)). El ÍAD alcanzó valores tan bajos como 0,16 ([Cuadro 2](#)). Análisis de contrastes de producción de MS y N absorbido en los tratamientos agrupados por fuente de N reflejó que, durante la mayor parte del CC, la MS fue superior en el tratamiento NA en comparación con urea y fórmula completa, aunque las diferencias fueron significativas ($P<0,1$) a los 15, 45, 60, y 115 DDS en relación a urea, y a los 45, 60, y 115 días con relación a la fórmula ([Figura 3A](#)). Entre urea y fórmula sólo se observó diferencias significativas ($P<0,1$) durante los

primeros 15 DCC. Similar a MS, el N absorbido fue normalmente más elevado en NA, aunque significativamente ($P<0,1$) superior a urea y fórmula luego de 45 d ([Figura 3B](#)). Para la época de aplicación de N, normalmente la producción de MS en los tratamientos donde se aplicó todo el fertilizante temprano durante el CC (a la siembra o con reabono a los 15 días), fue significativamente ($P<0,1$) superior a la aplicación tardía del mismo (reabono a los 25 y 35 d) a los 30, 45, 60 d, como se indica en la [Figura 3C](#). Para la absorción de N, el análisis de contrastes mostró diferencias significativas ($P<0,1$) entre aplicación temprana o tardía del elemento a los 30 y 45 DDS ([Figura 3D](#)). La menor absorción de N ocurrió con la aplicación tardía del elemento ($19,5$ y $47,2 \text{ kg ha}^{-1}$) en relación a la aplicación temprana ($36,2$ y $57,4 \text{ kg ha}^{-1}$) a los 30 y 45 d, respectivamente, para cada caso. Es posible, además, que los contenidos de humedad del suelo durante las primeras etapas del CC pudieran permitir la absorción de N, contrario a lo que pudo ocurrir con la aplicación tardía del elemento la cual pudo coincidir con períodos de baja disponibilidad de agua ([Cuadro 2](#)), donde el ÍAD alcanzó valores bajos de hasta $0,16$. En relación con el tipo de fertilizante se observó que los contenidos de N mineral en el suelo fueron ligeramente superior (promedio de las diferentes épocas de aplicación), cuando se aplicó NA durante los primeros 45 d ([Figura 2B](#)). Esto podría explicar en parte la mayor absorción del elemento en los tratamientos fertilizados con NA como se indicó anteriormente ([Figura 2B](#)), donde se observó que con NA hubo mayor acumulación de N por las plantas. Esto concuerda con lo observado por Fox et al. (1986), y Power et al. (1972) quienes encontraron mayor acumulación de N con NA que con urea. Estos resultados concuerdan con Urquiaga (2000) quien encontró mayor eficiencia de uso de N con aplicación temprana de N en maíz, y por Reeves et al. (1993) que observaron mayor producción de MS cuando se colocó toda la dosis de N a la siembra, aunque indica que similar a este trabajo, no hubo diferencias en el N total absorbido. Sin embargo, lo encontrado en esta investigación es contrario a lo indicado por Fox et al. (1986), quien señaló que la producción de grano, N absorbido, y concentración de N en la hoja fue superior cuando se reabonó entre los 26-31 d en comparación a la aplicación del N a la siembra (1-14 d).

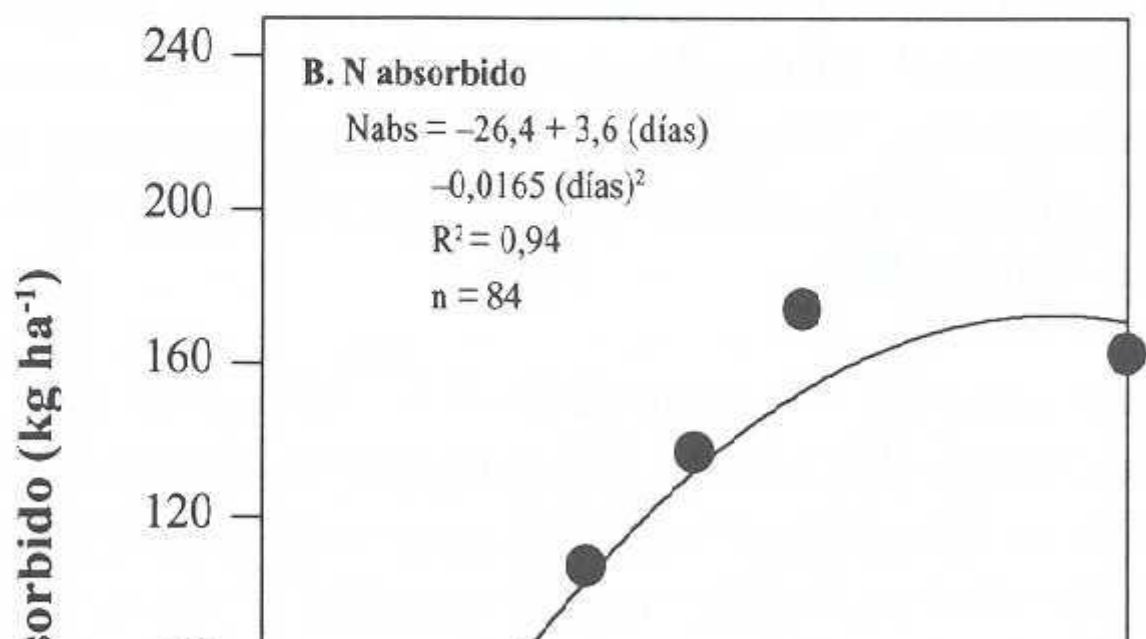
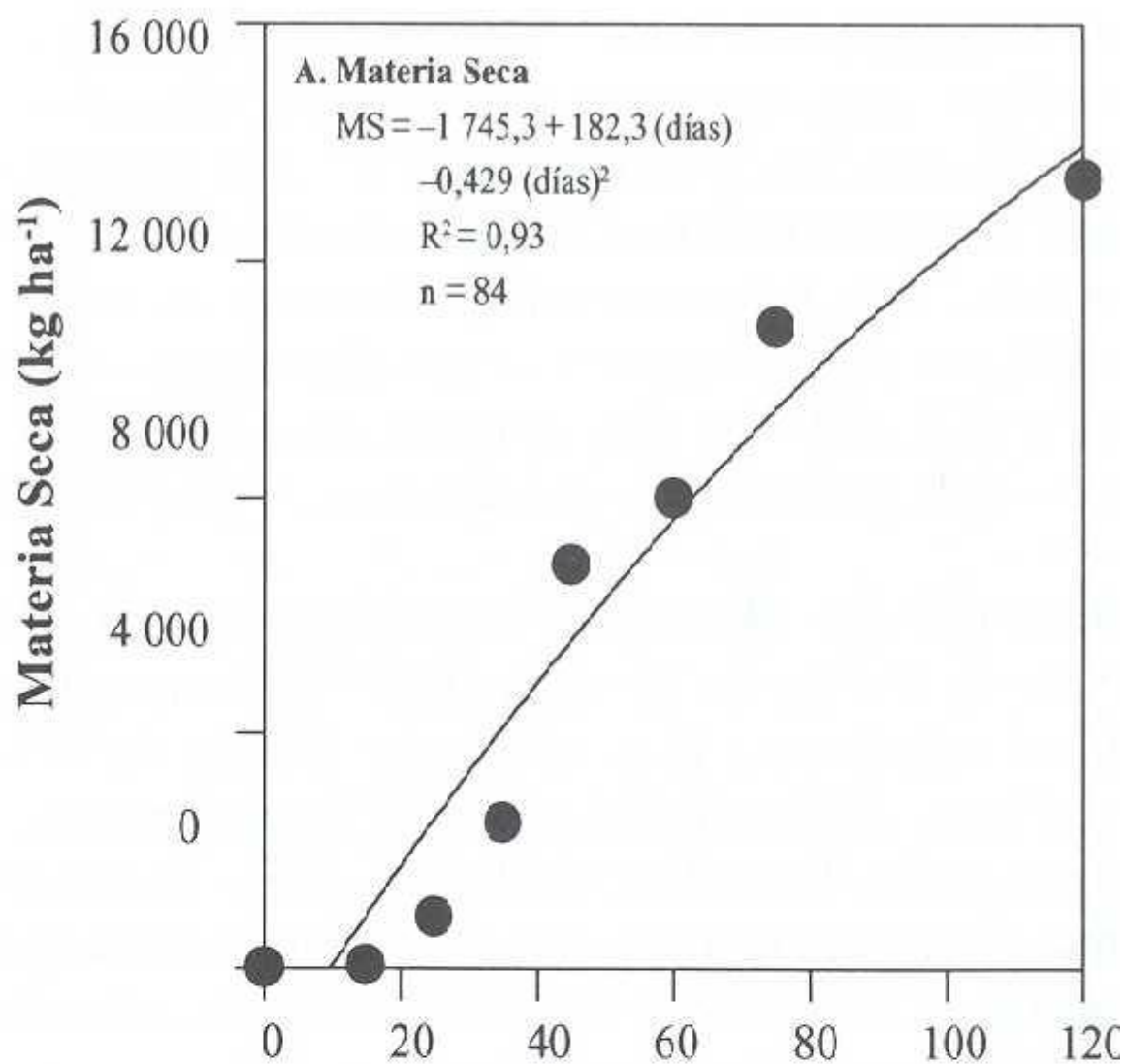
CUADRO 1. Principales características de los sitios experimentales.

Suelo	Horizonte	P	K	Ca	pH	M.O.	Distribución					Textura
de Partículas (%)												
	(cm)	mg kg-1			(%)		(‰ θ)		Arcilla	Arena	Limo	
	0-10	13,0	30,7	802	7,9	2,42	37,0	12,0	17,4	49,9	32,7	Franco
Turén	10-20	12,0	25,3	735	7,9	2,37	37,0	12,0	16,7	49,9	33,3	Franco
(Fluventic	20-30	10,0	22,7	788	7,9	2,28	37,0	12,0	18,1	45,9	36,0	Franco
Haplustoll)	30-40	7,7	28,0	788	7,9	2,29	37,0	12,0	17,4	49,9	32,7	Franco
	40-50	10,7	29,3	835	7,9	2,29	37,0	12,0	18,7	43,9	37,3	Franco
	0-10	7,7	91,3	255	5,5	1,80	24,7	8,3	10,7	72,6	16,0	Franco arenoso
El Pao	10-20	3,3	58,7	155	5,4	1,25	26,2	8,8	10,7	73,1	16,0	Franco arenoso
(Typic	20-30	2,0	57,3	88	5,2	0,97	28,2	9,5	16,1	66,6	17,3	Franco arenoso
Haplustoll)	30-40	2,0	41,3	82	5,1	0,90	27,4	9,2	19,4	63,3	17,3	Franco arenoso
	40-50	2,0	38,7	42	5,1	0,86	26,9	9,0	23,4	56,6	20,0	Franco arcillo arenoso

CUADRO 2. Fracción del agua extractable, promedio de los tratamientos donde toda la dosis de N se aplicó al momento de la siembra, en diferentes períodos del ciclo del cultivo en cada sitio.

Ciclo del cultivo (días)									
Suelo	0	15	30	45	60	90	115		
Índice de agua disponible	0,50	0,28	0,16	0,52	0,54	0,48	0,71		
Precipitación									
Acumulada/ período (mm)	-	124,3	99,6	120,2	65,6	338,8	163,3		
Promedio									
Turén contenido de humedad (0-40 cm)%	24,4	18,9	16,0	25,1	25,6	24,0	29,7		
Ciclo del cultivo (días)									
Suelo	0	7	14	21	27	55	64	77	120
Índice de agua disponible	0,49	0,29	0,46	0,47	0,41	0,26	0,03	0,11	0,03
Precipitación									
Acumulada/ período (mm)	-	3,5	43,4	61,6	78,6	311,6	2,9	109,6	17,3
Promedio									
El Pao contenido de humedad (0-50 cm)%	17,5	14,1	17,0	17,3	16,0	13,4	8,9	10,9	8,4

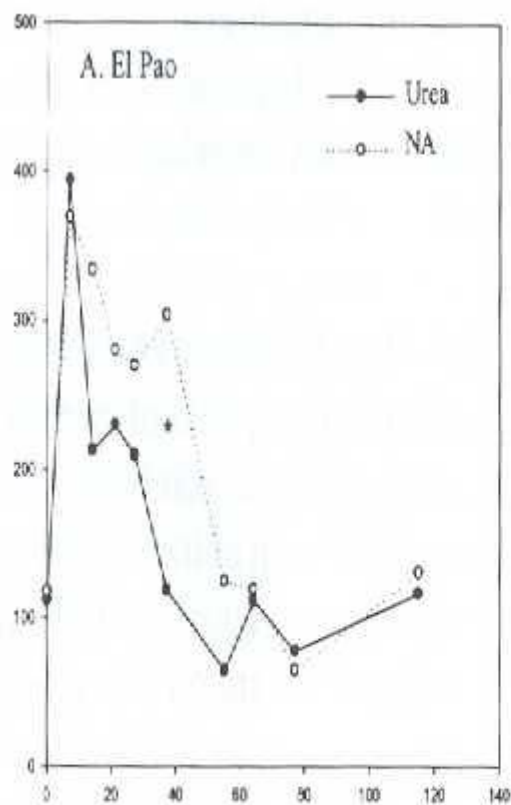
(1) Capacidad de campo (Cc) y punto de marchitez permanente (PMP) para Turén, datos de humedad tomados de estudios a nivel de campo por Van Leeuwe (1998), y para el Pao medidos con olla de presión en laboratorios.



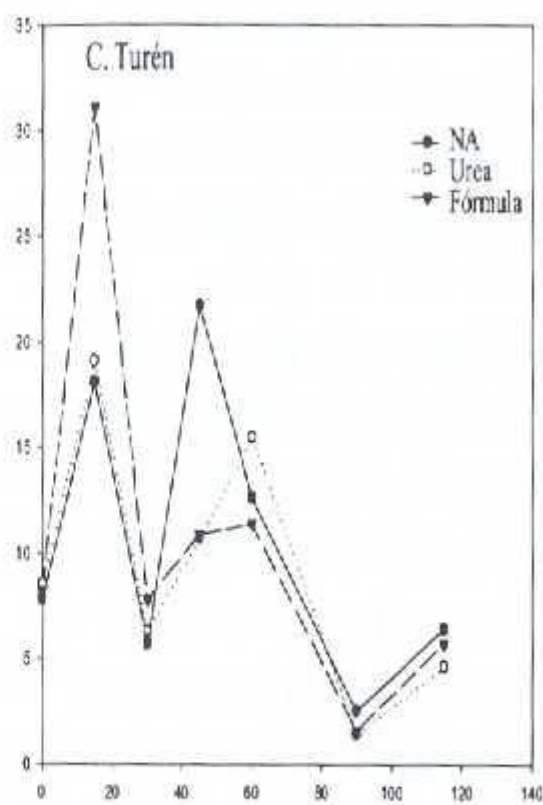
Para el cálculo de la función de regresión cuadrática se utilizó los 12 tratamientos en cada muestreo. En la figura sólo se representó el promedio de los 12 tratamientos.

FIGURA 1. Acumulación de materia seca y nitrógeno promediado de todos los tratamientos en el suelo Typic Haplustul.

N Mineral (kg ha⁻¹)



X Data



X Data

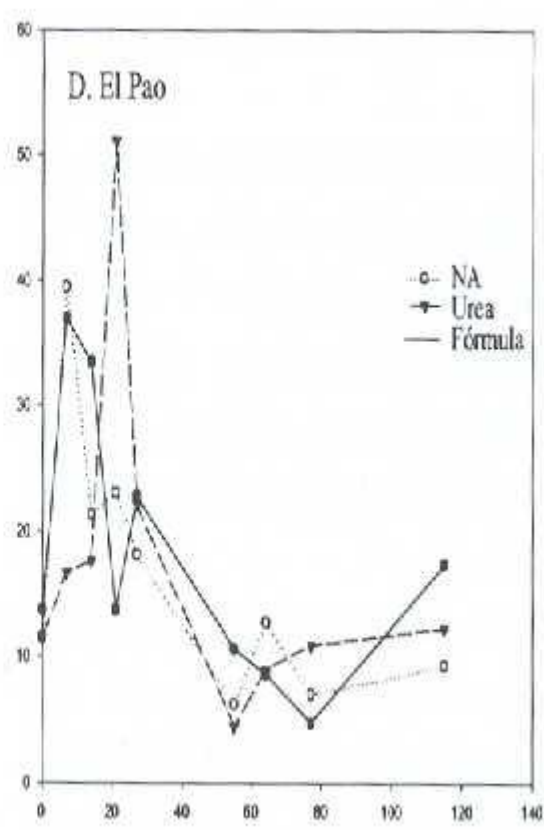
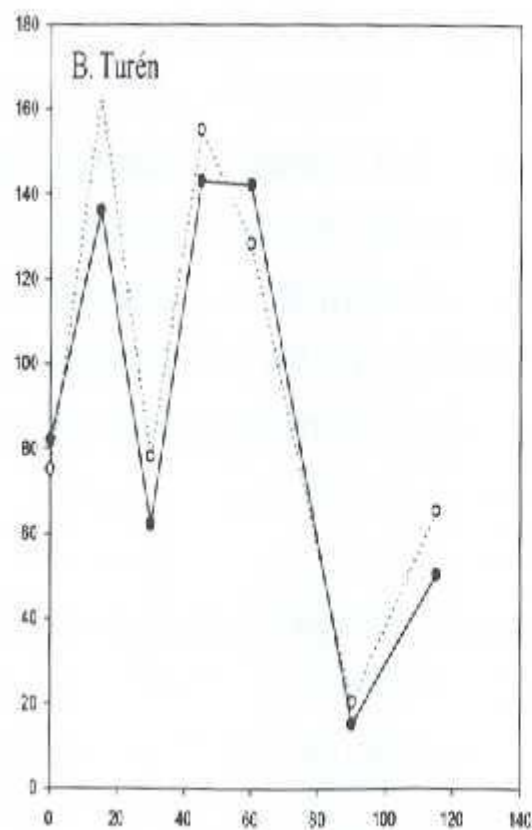


FIGURA 2. Contenido promedio de N mineral en el perfil del suelo para diferentes fuentes del elemento en el Pao y Turén.

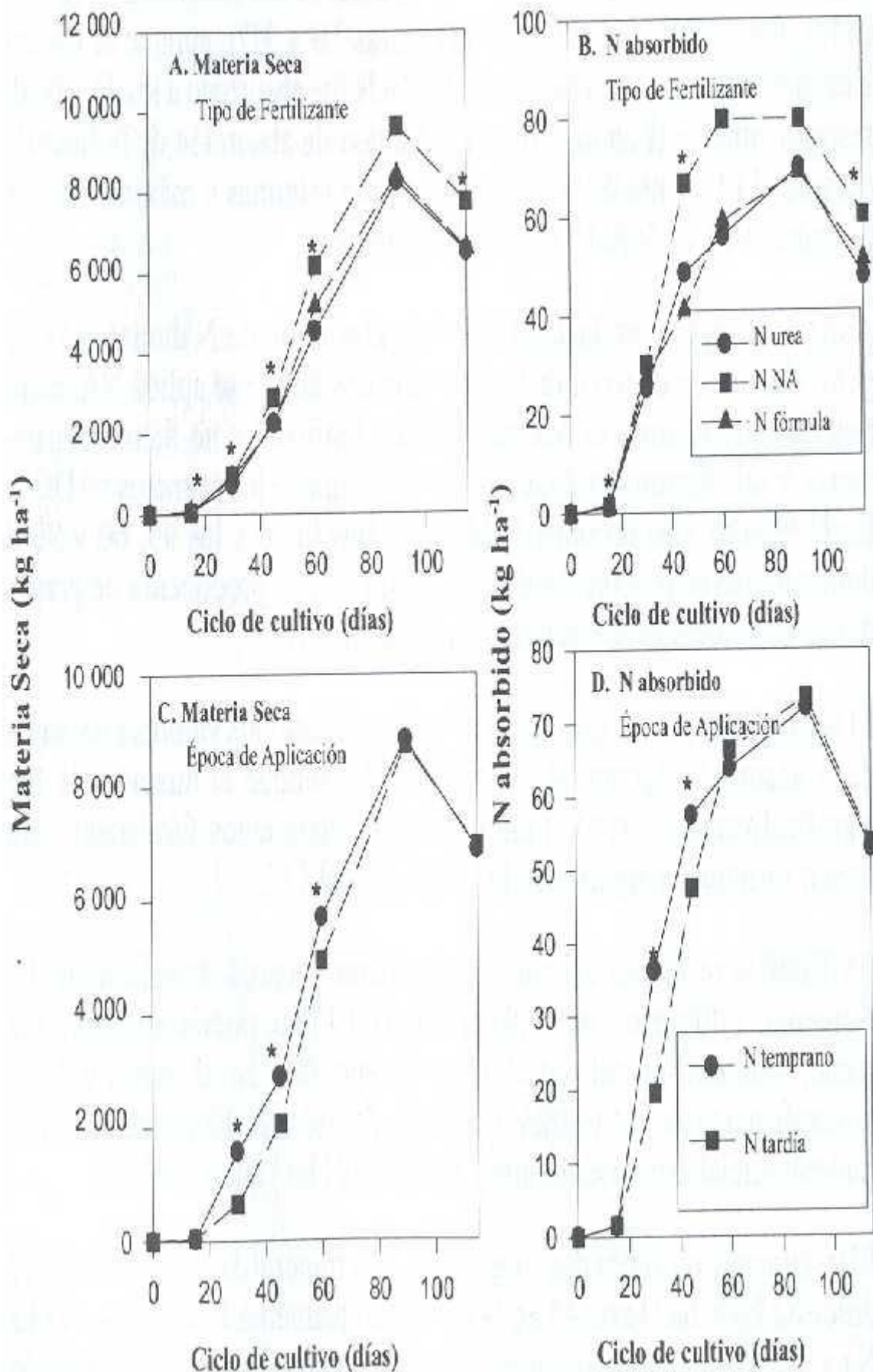


FIGURA 3. Producción de materia seca y absorción de N para diferente tipo y época de aplicación del nutrimento.

CUADRO 3. Acumulación de materia seca (MS), N total y producción de grano durante el ciclo del cultivo, para diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados y época de aplicación del reabono en Turén.

Ciclo del cultivo (días)						
45		60		90		120
	MS	N	MS	N	MS	N
Rendimiento						
Grano						
1	kg ha ⁻¹					
Tratamiento						
Urea_toda ab 1 829 abc	2 462,6 ab	56,0 ab	5 343,4 abc	59,7 ab	8 323,0 ab	66,7
Urea_15 ab 1 490 c	2 844,0 a	57,2 a	4 059,1 bcd	48,4 ab	6 690,0 ab	52,2
Urea_25 ab 1 972 abc	1 937,2 ab	35,9 ab	5 791,4 abc	68,4 ab	10 172,0 ab	87,9
Urea_35 ab 2 266 abc	1 798,3 ab	45,8 ab	3 007,7 cd	47,8 ab	7 940,0 ab	73,0
NA_toda ab 2 326 abc	3 555,7 a	73,0 a	5 160,7 abc	58,7 ab	9 155,0 ab	69,8
NA_15	3 447,3 a	78,3 a	7 934,6 a	89,9 a	11 376,0	

Urea_toda, Urea_15, Urea_25 y Urea_35 son tratamientos donde toda la dosis de N se aplicó, en la forma de urea, a la siembra, 2/3 de la dosis a la siembra y 1/3 a los 15 días, 2/3 de la dosis a la siembra y 1/3 a los 25 días y 2/3 de la dosis a la siembra y 1/3 a los 35 días, respectivamente. Tratamientos con NA y Fórmula el N se aplicó como nitrato de amonio y fuente amoniacal de manera

similar a la indicada para urea. Sin_N= Tratamiento sin fertilización con N. Valores seguidos de letras similares, en la misma época de muestreo, son estadísticamente similares según Tukey ($\alpha=0,1$)

CONCLUSIONES -

En los dos sitios evaluados, el NA es utilizado mejor que urea, y que la fuente amoniacal. En Turén, la aplicación temprana del fertilizante mejora la utilización del N fertilizante. - En los dos sitios evaluados, déficit de humedad al inicio del CC afectó la absorción de N, y en El Pao el déficit de humedad en el período de floración y llenado de grano, la producción de MS.

Bibliografía

1. Alves, B. J. R., R. M. Boddey and S. Urquiaga. 1994. A rapid and sensitive flow injection technique for the analysis of ammonium in soil extracts. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24:277-284. [[Links](#)]
2. Bremner, J. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: C. Black C, (ed.) Methods of soil analysis. Part II. ASA. Madison, WI. p. 1.179-1.237. [[Links](#)]
3. Bremner, J. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen total. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR, (ed.). Methods of soil analysis. Part II. ASA. Madison, WI. p. 595-624. [[Links](#)]
4. Carcova, J., G. A. Maddonni and C. M. Ghera. 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. Field Crop Res. 55:165-174. [[Links](#)]
5. Debreczeni, K. 2000. Response of two maize hybrids to different fertilizer-N forms (NH₄-N and NO₃-N). Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31:2.251-2.264. [[Links](#)]

6. , R. 2002. Evaluación de crecimiento del maíz y absorción nitrógeno bajo diversas condiciones de disponibilidad del elemento en un Mollisol de Venezuela. *Agronomía Trop.* 52(1):5-28. [[Links](#)]
7. Ewel, J. J., A. Madriz y J. A. Tosi Jr. 1968. Zonas de vida de Venezuela: memoria explicativa sobre el mapa ecológico. 2da edición. MAC-FONAIAP. Caracas. Venezuela. [[Links](#)]
8. FAO. 1980. Maximizing the efficiency of fertilizer use by grain crops. *FAO Fertilizer Bulletin* 3. Rome, Italy. 29 p. [[Links](#)]
9. Fox, R. H., J. M. Kern and W. P. Piekielek. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till corn yields and nitrogen uptake. *Agron. J.* 78:741-746. [[Links](#)]
10. González, R., F. Blanco y S. Cabrera. 1977. Efectos de N, P, y K en maizales del Edo. Portuguesa. II. Sur de Ospino. *Agron. Trop.* 27:25-34. González, R. y A. Vonasek. 1974. fertilización con N, P, y K en campos de maíz del Valle medio del río Yaracuy. *Agron. Trop.* 24:365-390. [[Links](#)]
11. Grant, R. F., B. S. Jackson, J. R. Kiniry and G. F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.* 81:61-65. [[Links](#)]
12. Jokela, W. E. and G. W. Randall. 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. *Agron. J.* 81:720-726. [[Links](#)]
13. Jokela, W. E. and G. W. Randall. 1997. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1695-1703. [[Links](#)]
14. Monelik, G., R. B. Reneau and D. C. Martens. 1994. Corn yield and nitrogen uptake as influenced by tillage and applied nitrogen. *J. Plant Nutr.* 17:911-913. [[Links](#)]
15. Power, J. F., J. Alesi, G. A. Reichman and D. L. Grunes. 1972. Effect of nitrogen source on corn and brome grass production, soil pH, and inorganic soil nitrogen. *Agron. J.* 64:341-344. [[Links](#)]

16. Randall, G. W., T. K. Iragavarapu and B. R. Bock. 1997. Nitrogen application methods and timing for corn after soybean in a ridge-tillage system. J. Prod. Agric. 10:300-307. [[Links](#)]
17. Reeves, D. W., C. W. Wood and J. T. Touchton. 1993. Timing nitrogen applications for corn in a winter legume conservation-tillage system. Agron. J.85:98-106. [[Links](#)]
18. Ritchie, J. T. 1981. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. Plant and Soil. 58:81-96. [[Links](#)]
- 19.SAS. 1998. SAS/STAT User' s Guide., Version 7.0. Statistical analysis System Institute. Cary, NC., USA. [[Links](#)]
- 20.Stecker, J. A., D. D. Buchholz, R. G. Hanson, N. C. Wollenhaupt and K. A. McVay. 1993. Broadcast nitrogen sources for no-till continuous corn and corn following soybean. Agron. J. 85:893-897. [[Links](#)]
21. Touchton, J. T. and W. L. Hargrove. 1982. Nitrogen source and methods of application for no-tillage corn production. Agron. J. 74:823-826. [[Links](#)]
22. Urquiaga, S. 2000. Eficiencia de la fertilización nitrogenada en los principales cultivos anuales. In: Urquiaga S, Zapata F (ed.) Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. EMBRAPA, Agro biología, Porto Alegre, Brasil. p. 31-48. [[Links](#)]
23. Waldren, R. P. 1983. Corn. P.187-211. In I.D. Teare and M.M. Pee MM (ed.) Crop-water Relations. John Wiley and Sons, New York, USA. [[Links](#)]
24. Whitehead, D. C. and N. Raistrick. 1990. Ammonia volatilization from five nitrogen compounds used as fertilizers following surface application to soils. J. Soil Sci. 41:387-394. [[Links](#)]

Notas

1 Trabajo financiado por FONACIT (antes CONICIT) bajo proyecto S1-2281 y PALMAVEN (Filial de PDVSA).

* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Apdo. 4653. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela.

** Investigador. INIA-CEA. Apdo. 102. Araure, estado Portuguesa. Venezuela.

**Av. Universidad, vía El Limón, Edificio Gerencia General, INIA.
Apartado 2103. Maracay 2105. Aragua-Venezuela.**

e-Mail

agrotrop@inia.gov.ve