

Artículo Original

Fertilización del maíz (*Zea mays* L.) sembrado en época alternativa con diferentes fuentes de nitrógeno en el sur de Paraguay

Fertilization of corn (*Zea mays* L.) planted in alternative seasons with different nitrogen sources in southern Paraguay

***Aldo Andrés Ortiz¹, Lidia Augusta Quintana¹, Ruth Fabiola Scholz²**

¹Universidad Nacional de Itapúa, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Itapúa, Paraguay

²Instituto Paraguayo de Tecnología Agropecuaria, Centro de Investigaciones Capitán Miranda. Capitán Miranda, Paraguay

Editor responsable: Graciela María Patricia Velázquez de Saldivar^{id}.
Universidad del Cono Sur de las Américas, UCSA.

RESUMEN

En el Paraguay unos de los cultivos más tradicionales y masivamente cultivado por los productores es el maíz, la obtención de altos rendimientos depende de prácticas de manejo como la época de siembra y el manejo de la fertilización, la investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización con distintas fuentes de nitrógeno aplicados en dos momentos en época tardía de siembra. Se utilizaron como fertilizantes nitrogenados: Urea 30 kg ha⁻¹ Nitrógeno (N) liquido 30 kg ha⁻¹, Urea 60 kg ha⁻¹, N liquido 60 kg ha⁻¹, Urea 90 kg ha⁻¹, N liquido 90 kg ha⁻¹ y dos momentos de aplicación (estado vegetativo V3 y V6). El diseño experimental fue arreglo factorial dispuesto en bloques completos al azar, se consideraron dos factores: dos fuentes de N y tres dosis de cada fuente. Se evaluaron el peso de 1000 granos, rendimiento de granos y la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN). El peso de 1000 granos mostró ser influenciado tanto por los momentos de aplicación, así como por las fuentes de N y la interacción entre ambos, el rendimiento no presentó efecto en la interacción de los factores, mientras que estos factores individualmente presentaron efecto sobre esta variable, la EAN no presentó efecto ante los momentos de aplicación. N liquido 30 kg ha⁻¹ aplicado en estado fenológico V6 se podría recomendar como practica de fertilización del maíz sembrado en época tardía en el sur de Paraguay.

Palabras clave: Maíz; prácticas de manejo; fertilizante nitrogenado; momento de aplicación.

ABSTRACT

In Paraguay, one of the most traditional and massively cultivated crops by producers is the corn, obtaining high yields depends on management practices such as planting time and fertilization management. This research was carried out with the objective of evaluating the effect of fertilization with different nitrogen source, applied 2 times at the late planting season. The following

***Autor correspondiente: Aldo Andrés Ortiz.** Universidad Nacional de Itapúa, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Itapúa, Paraguay.
Email: aldoortiz.2009@hotmail.com

Fecha de recepción: julio 2023. Fecha de aceptación: setiembre 2023



nitrogen fertilizers used were: Urea 30 kg ha⁻¹, Liquid nitrogen (N) 30 kg ha⁻¹, Urea 60 kg ha⁻¹, liquid N 60 kg ha⁻¹, Urea 90 kg ha⁻¹, liquid N 90 kg ha⁻¹ applied in 2 application moments (vegetative state V3 and V6). The experimental design was a factorial arrangement in complete random blocks, considering two factors: 2 sources of N and 3 levels of each source. The weight of 1000 grains, grain yield and agronomic nitrogen efficiency (EAN) were evaluated. The weight of 1000 grains was shown to be influenced both by the application times, as well as by the sources of N and the interaction between both, the yield did not have an effect on the interaction of the factors, while these factors individually had an effect on this variable, the EAN had no effect at the time of application. Liquid N 30 kg ha⁻¹ applied in phenological stage V6 could be recommended as a fertilization practice for corn planted in the late season in southern Paraguay.

Keywords: Corn, management practices; nitrogen fertilizer; application time.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura paraguaya uno de los cultivos más tradicionales es el maíz, del mismo se elaboran distintos platos tradicionales para alimento humano, también el maíz es utilizado para la alimentación animal, diversos usos industriales y la exportación de granos. En la última década su siembra fue atrasada a época tardía donde disminuye la oferta de la radiación solar, es una especie que su rendimiento es dependiente de prácticas de manejo como ser la fertilización entre las que se encuentra el nitrógeno como el elemento más limitante.

De acuerdo a datos estadísticos del año 2023 de la Cámara Paraguaya de (Exportadores de Cereales y Oleaginosas [CAPECO], 2023), la superficie total de maíz sembrada fue de 1.096.472 ha, con una producción total que alcanzó 6.407.317 t y un rendimiento medio de 5.844 kg ha⁻¹ en el año 2022.

En el maíz el rendimiento puede ser analizado en términos de sus componentes numéricos que son el número de granos por unidad de superficie y el peso individual del grano, las relaciones de estos componentes con el crecimiento del cultivo y la partición de biomasa a lo largo del ciclo se relacionan con el rendimiento (Andrade et al., 2023).

La productividad del maíz en América tropical ha presentado problemas principalmente en lo referente a la productividad que se atribuye a la degradación de los suelos, uso de variedades con bajo potencial de rendimiento o el uso inadecuado de híbridos con potencial alto de rendimiento. Los rendimientos del maíz podrían incrementarse con un adecuado uso de la tecnología y un mejor manejo de las densidades de plantas y la nutrición del cultivo (García y Espinosa 2009).

En los cultivos, la respuesta al uso de los fertilizantes es función del balance entre la demanda de nutrientes y la oferta de los mismos. La demanda de un nutriente está determinada por el rendimiento del cultivo. Esta demanda de los nutrientes se construye durante todo el ciclo del cultivo y es producto de la captura de recursos (radiación solar, agua y nutrientes), que luego son transformados en biomasa y rendimiento (Salvagiotti, 2016).

El maíz es un cultivo afectado por factores bióticos y abióticos que pueden alterar la fisiología y la morfología del mismo, estos factores pueden afectar la productividad y la calidad de la producción, los factores considerados abióticos son la temperatura, deficiencia nutricional, sustancias químicas que pueden causar fitotoxicidad, fertilizantes y estrés hídrico, por otra parte, los efectos bióticos son causados por hongos, bacterias, virus, malezas y plagas (Pereira et al., 2001).

La productividad del maíz depende del número de granos polinizados y desarrollados y de la cantidad de foto asimilados disponibles, mientras que el número de granos que tienen potencial de desenvolverse en una espiga es influenciado por los factores ambientales (Magalhães et al., 2002).

En el maíz, la fecha de siembra modifica el ambiente térmico y la radiación solar incidente durante las distintas fases fenológicas del cultivo y produce cambios en la misma, así como puede producir cambios en el crecimiento e índice de cosecha (Andrade et al., 1996).

Los rendimientos promedios obtenidos en el Paraguay demuestran la existencia de una importante diferencia entre el potencial de rendimiento de los cultivares de maíz (Ortiz y Paytas 2016).

El maíz presenta efecto significativo que se traduce en mayor rendimiento cuando se aplica nitrógeno en una dosis de 150 kg ha⁻¹ combinado con una densidad de 55 mil plantas ha⁻¹ con rendimientos de 6739 kg ha⁻¹ respecto a maíz con menor dosis de nitrógeno y sin nitrógeno (Ortiz, 2016).

Bonelli et al., (2018) realizaron un trabajo donde aplicaron cuatro fuentes de N que fueron: Urea (46% N), Urea + Nitrato de amonio en solución (UAN, 32% N), Urea + Nitrato de amonio + Tiosulfato de amonio en solución (UAN+T, 28% N - 5,6% S) y Nitrato de amonio calcáreo (CAN, 27% N) aplicados en tres momentos de aplicación de N (parcela principal): siembra y estadios de seis y diez hojas expandidas, respecto a la respuesta en el rendimiento los mismos mencionan que las fuentes UAN, UAN+T y CAN, con menor potencial de volatilización mostraron un comportamiento similar al de la urea en los tres momentos de fertilización, el rendimiento del cultivo no fue afectado por la interacción entre momento de aplicación y fuente de N, los momentos de aplicación no afectó el rendimiento del cultivo.

En el Paraguay, de acuerdo a lo expresado por Ortiz Alfonso (2021), en el maíz la eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) se observa combinando de 50.000 plantas ha⁻¹ y 50 kg ha⁻¹ de N, con la combinación mencionada se alcanzó EAN de 54 en maíz sembrado en época tardía.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue establecido en el año 2014 en la localidad de Encarnación, departamento de Itapúa, Paraguay cuyas coordenadas son - 27.240977 latitud sur y -56.000760 longitud oeste entre los meses enero a junio correspondiente a la época alternativa (tardía), el suelo pertenece al grupo Kandiodox del suborden Udox que caracteriza por un alto contenido de arcilla (40 %), como sub grupo al que pertenece es Typic Kandiodox desarrollado sobre roca de origen basáltico, la topografía ondulada y pendiente entre 3 y 8% (López et al., 1995).

El cultivar sembrado fue el híbrido DK 910 recomendada para siembras tardías, se realizó la aplicación de fertilizante de base de formulación 4-30-10 (N-P-K) a razón de 150 kg ha⁻¹, se aplicó 1.200 kg ha⁻¹ de cal agrícola para regular el pH por recomendación del laboratorio.

Tabla 1. Resultado de análisis de suelo del suelo donde se instaló el experimento.

Propiedad química	0-60 cm	0-20 cm	Referencia
pH (H ₂ O)	5,5%	5,4%	Bajo
MO	2,2%	2,8%	Medio
Nitrato(N-NO ₃ +NO ₂)	9,25 mg/LS	10 mg/LS	Alto
P	36,5 mg/LS	58,5 mg/LS	Alto
K	0,6 mg/LS	58,5 mg/LS	Alto
S	6,5 mg/LS	6,8 mg/LS	Alto

Los tratamientos incluyeron dos factores: tres dosis de nitrógeno de dos fuentes: Urea 30 kg ha⁻¹ N líquido 30 kg ha⁻¹, Urea 60 kg ha⁻¹, N líquido 60 kg ha⁻¹, Urea 90 kg ha⁻¹, N líquido 90 kg ha⁻¹, el N líquido contiene 28% de N y 5,2% de azufre, aplicados en dos momentos (estado vegetativo V3 y V6) considerando la escala de Ritchie y Hanway, (1982). El diseño fue arreglo factorial dispuesto en bloques completos al azar con tres repeticiones. El N líquido (líquido) fue aplicado mediante aspersor manual a presión (pulverizadora) y la urea se aplicó dispersando en forma manual.

Cada unidad experimental consistió en 6 hileras de 10 m separados entre sí a 0,6 m, la densidad de plantas fue de 55.000 plantas ha⁻¹, la cosecha se realizó al momento de madurez fisiológica y se cosecharon 3 hileras de cada unidad experimental.

Se evaluaron el peso de 1000 granos (PMG) y el rendimiento total de grano (RTO). Se evaluó la eficiencia agronómica del N (EAN) para el mismo se aplicó la fórmula: EAN: (Rendimiento del tratamiento-Rendimiento del testigo) / dosis de N aplicado al tratamiento (García y Espinosa, 2009).

Los datos fueron sometidos al análisis de varianza (ANAVA) mediante el programa estadístico *InfoStat*[®] versión estudiantil (Di Rienzo et al., 2013), antes de realizar el ANAVA se verificó la normalidad de los datos. Los resultados que con diferencias significativas fueron sometidos el test de comparación de medias Scott & Knott Alfa: 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso de 1000 granos (Tabla 2) en el ANAVA demostró ser influenciado tanto para los momentos de aplicación, así como para las fuentes de N y la interacción entre ambos.

Tabla 2. Peso de mil granos del maíz, según distintos momentos y fuentes de nitrógeno.

Momentos	Dosis y fuente de N (kg ha ⁻¹)							Promedic
	0	30 urea	60 urea	90 urea	30 N líquido	60 N líquido	90 N líquido	
V3	328A	356B	394C	452D	361B	438C	416C	392 a
V6	342A	368B	399C	463D	408C	418C	436D	405 b
Promedios	335a	362b	396c	457e	384c	428d	426d	398
Fc: MA								8,26**
Fc: F y D								51,76**
Fc: Interacción								2,83*

Nota. Fc: valor de F calculada en el ANAVA, *: diferencia significativa; **: diferencia altamente significativa. Letra minúscula distintas indican diferencias significativas efecto de dosis y fuentes, letras mayúscula distinta diferencia en la interacción. MA: momento de aplicación, F y D: fuente y dosis.

La respuesta observada sobre el peso de 1000 granos principal componente de rendimiento indica que el N afecta al peso individual de los granos, el mayor peso de grano (457 g) en termino promedio se alcanzó con la mayor dosis de urea aplicada que fue distinto a los demás tratamientos, por otro lado, respecto al momento de aplicación se observó mayor respuesta cuando se aplicó N en el estado V6, estadísticamente fueron diferentes los momentos de aplicación. El mayor peso de 1000 granos se alcanzó con la combinación entre la mayor de urea aplicado en estado V6.

Este resultado concuerda con lo expresado por Andrade et al., (2023) quienes indican que el peso de los granos del maíz se ve influenciado por la participación de biomasa desde las estructuras vegetativas a las reproductivas.

El rendimiento (Tabla 3) presentó diferencia altamente significativa para los efectos de los momentos de aplicación y para las dosis, mientras que para la interacción fue no significativo.

Tabla 3. Rendimiento del maíz, según distintos momentos y fuentes de nitrógeno.

Momentos	Dosis y fuente de N (kg ha ⁻¹)							Promedio
	0	30 urea	60 urea	90 urea	30 N líquido	60 N líquido	90 N líquido	
V3	5.934	6.430	7.257	7.175	6.880	7.612	7.078	6.909a
V6	6.139	6.467	7.528	7.448	7.452	7.584	7.654	7.182b
Promedios	6.037a	6.449b	7.393c	7.311c	7.166c	7.598c	7.366d	7.045
Fc: M A								15,66**
Fc: F y D								40,02**
Fc:								
Interacción								1,67 ^{ns}

Nota. Fc: valor de F calculada en el ANAVA, **: diferencia altamente significativa, ^{ns}: diferencia no significativa. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El mayor rendimiento fue de 7.598 kg ha⁻¹ alcanzado con la dosis de 60 N líquido, aunque estadísticamente fue similar a las dosis 60 urea, 90 urea y 30 N líquido, para los momentos de aplicación los tratamientos fueron distintos entre sí siendo mayor cuando se aplicó N en el estado V6. Magalhães et al., (2002) expresan que la productividad del maíz depende del número de granos polinizados y desarrollados y de la cantidad de foto asimilados disponibles, esto se relaciona con lo obtenido en este trabajo donde se obtuvo respuesta a la aplicación de N pudiendo inferirse que el N es un elemento fundamental tanto para la generación de recurso (foto asimilados) y el número potencial de granos que permitió obtener respuesta a los tratamientos.

Se observó que el tratamiento con mayor rendimiento también fue uno de los que alcanzó mayor peso de 1000 granos, algunos autores expresan que, en el cultivo de maíz, uno de los componentes de rendimiento importantes es el peso del grano (Magalhães et al. 2002, y Andrade et al., 1996), en este trabajo se pudo evidenciar esta relación entre el rendimiento y el peso de grano.

La EAN (Tabla 4) presentó diferencia no significativa para el efecto del momento de aplicación, mientras que mostró ser afectado por las fuentes y dosis, así como por la interacción.

Tabla 4. Eficiencia agronómica de nitrógeno, según distintos momentos y fuentes de nitrógeno.

Momentos	Dosis y fuente de N						Promedio
	30 urea	60 urea	90 urea	30 N líquido	60 N líquido	90 N líquido	
V3	17A	22B	14 ^a	32C	28C	13A	21
V6	11A	23B	15 ^a	44D	24B	17A	22
Promedios	14a	23b	14 ^a	38d	26c	15a	21
Fc: M A							0,96 ^{ns}
Fc: F y D							27,12**
Fc: Interacción							3,09*

Nota. Fc: valor de F calculada en el ANAVA, *: diferencia significativa; **: diferencia altamente significativa, ^{ns}: diferencia no significativa. Letra minúscula distintas indican diferencias significativas efecto de dosis y fuentes ($p < 0,05$), letras mayúscula distinta diferencia en la interacción.

La mayor EAN fue obtenido con la combinación de 30 N líquido aplicado en V6, estadísticamente este tratamiento fue distinto a los demás, esto permite inferir que el N aplicado de forma líquida produce menos pérdida por lo tanto es

mejor aprovechado considerando que la EAN muestra el incremento del rendimiento por unidad de N aplicado.

Salvagiotti (2016) expresa que la demanda de nutrientes se construye durante todo el ciclo del cultivo y es producto de la captura de recursos (radiación solar, agua y nutrientes), que luego son transformados en biomasa y rendimiento, cabe destacar que en este experimento la época tardía de siembra podría haber influido en la disminución de la eficiencia agronómica del nitrógeno traducido en bajos rendimientos, considerando que en el Paraguay en esa época se presenta una disminución de la oferta de la radiación solar, Alfonso (2016) alcanzó rendimiento de 6.739 kg ha⁻¹ con aplicación de N.

La EAN alcanzada en este trabajo fue relativamente menor que lo reportado por Ortiz (2021) quien en la misma época de siembra del maíz reportó EAN de 52 con dosis de 50 kg⁻¹ de N, por lo cual no coinciden con lo alcanzado en este trabajo donde la mayor EAN fue de 44, este resultado podría asociarse a variación entre años destacando que la EAN podría disminuir o aumentar con pérdidas del elemento mineral. 38,75.

CONCLUSIÓN

Para el peso de 1000 granos se obtuvo mayor respuesta cuando se aplicó urea 90 kg ha⁻¹ y la mayor EAN alcanzado se dio con la menor dosis de N líquido.

En la época tardía de siembra para el maíz en el sur de Paraguay la fuente de nitrógeno que permitió mayor rendimiento fue N líquido aplicado en el estado fenológico V6.

La relación de las variables evaluadas permite concluir que la mayor EAN alcanzado con la dosis 30 de N líquido aplicado en V6 es la dosis que se podría recomendar como práctica de fertilización nitrogenada del maíz sembrado en época de siembra tardía.

Contribución de autores

El equipo de investigación estuvo compuesto por Aldo Andrés Ortiz, Lidia Augusta Quintana y Ruth Fabiola Scholz, los tres investigadores acompañaron el manejo del experimento en las etapas de medición de las variables evaluadas. El análisis estadístico de los datos fue realizado por Aldo Ortiz, la redacción y corrección del artículo fue realizado por los tres autores, la traducción del resumen fue realizado por Lidia Quintana, la corrección final se realizó en reunión del grupo de investigación.

Conflicto de interés: no existe conflicto de interés de ninguna de las partes por la publicación de este artículo.

Financiamiento: el experimento de campo fue financiado por la empresa Bunge Paraguay.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ortiz, A. A. (2016). Evaluación de la Respuesta del Maíz (*Zea mays* L.) ante cambios en la densidad de siembra y dosis de nitrógeno. *Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico*, (10), 82-85.
<https://revistas.uni.edu.py/index.php/rseisa/article/view/166>
- Andrade, F.H.A, Cirilo, A., Uhart, S., Otegui, M. (1996). *Ecofisiología del cultivo de maíz*. (1ra Ed). Editorial La Barrosa Buenos Aires. Argentina.
- Andrade, F.H.A, Cirilo, A., Uhart, S., Otegui, M. (2023). *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz*.

- http://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf
- Bonelli, L. E., Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., Barbieri, P. A. (2018). Fuente y momento de aplicación de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en Balcarce. *Ciencia del suelo*, 36(1), 88-98. https://www.researchgate.net/publication/329556588_Fuente_y_momento_de_aplicacion_de_nitrogeno_en_maiz_bajo_siembra_directa_en_Balcarce
- Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas [CAPECO]. (2018). Área de Siembra, Producción y Rendimiento. <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>.
- Di Rienzo J.A., Casanoves, F., Balzarini, MG., González, L., Tablada, M., Robledo. CW. (2018). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- García, J.P., Espinosa, J. (2009). Efecto del fraccionamiento de N en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutriente en maíz. [Archivo PDF]. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/F6C2CDE6735C18CF852579A0006B1E93/\\$FILE/Efecto%20del%20Fraccionamiento%20de%20Nitr%C3%B3geno%20en%20la%20Productividad%20.....pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/F6C2CDE6735C18CF852579A0006B1E93/$FILE/Efecto%20del%20Fraccionamiento%20de%20Nitr%C3%B3geno%20en%20la%20Productividad%20.....pdf)
- López, O. E., González, P.A., Llamas, A.S., Molinas, E.S., Franc, S., García., E.O., Ríos. (1995). Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. <http://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-SuelosRegi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
- Magalhães, P.C., Durães, F.O., Portilho, N., Paiva, E. (2002). Fisiologia do Milho. Circular técnica. EMBRAPA. [Archivo PDF]. <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circul22.pdf>
- Ortiz Alfonso A. A. (2021). *Respuesta a la fertilización nitrogenada en tres densidades de siembra de un híbrido precoz de maíz DK 8282 BT (Zea mays L.) en la época tardía de siembra en la zona sur de Paraguay*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Nordeste]. https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/49748/RIUNNE_FCA_TM_Ortiz_Alfonso_AA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ortiz, A.A., Paytas, M. (2016). Respuesta a la fertilización nitrogenada y densidad de siembra de un híbrido de maíz en época tardía en el sur de Paraguay. Editorial EUDENE
- Pereira, H.P., Fantin, G.M., Carvalho, I., Pinto, N.F y R.V Carvalho. (2001). Manejo integrado de doenças na cultura do milho de safrinha. [Archivo PDF]. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/485002/manejo-integrado-de-doencas-na-cultura-do-milho-de-safrinha..>
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J. (1982). How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report Nº 48. <https://core.ac.uk/download/pdf/83024409.pdf>
- Salvagiotti, F. (2016). El rol de los fertilizantes en el aumento de la producción agropecuaria en Lavado, R (Ed.), *Sustentabilidad de los Agrosistemas y Uso de Fertilizantes* (2016 ed., Cap. 2. pp 85-90). Gráfica Editora.