

Efecto de dosis y fuentes de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional del grano de maíz (*Zea mays* L.)

Marta Barrios* y Carmen Basso

¹Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua. Venezuela

RESUMEN

Para evaluar el efecto de la dosis y fuentes nitrogenadas sobre el rendimiento y la calidad nutricional del maíz, se realizó un experimento en la Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela; el diseño fue bloques al azar con cuatro repeticiones; cada unidad experimental midió 21,6 m², con seis hileras de 4 m de longitud, 0,9 m de separación y distancia entre plantas de 0,25 m. Las Dosis y fuentes evaluadas generaron 6 tratamientos, más un testigo sin nitrógeno. Se aplicaron tres fuentes: urea convencional (UC), sulfato de amonio (SA) y urea de liberación controlada (ESN). Las dosis fueron 55 y 110 kg/ha de nitrógeno, y se agregaron además 20 kg/ha de P₂O₅ y 60 kg/ha de K₂O. Se determinaron días a floración y maduración, rendimiento, número de hileras/mazorca y granos/hilera, diámetro de la mazorca, nitrato en savia y suelo, y se realizó análisis químico proximal y de aminoácidos al grano cosechado. El nitrógeno favoreció mayores rendimientos, sin diferencias entre dosis para cada fuente, y propició una mayor cantidad de días a floración y a maduración; el número de granos/hilera y de hileras/mazorca, y el peso de mil granos, aumentaron con la fertilización nitrogenada proveniente de ESN y SA. El nitrato en suelo y savia fue mayor a la dosis alta de ESN. La fertilización nitrogenada favoreció los contenidos de proteínas y fibra, no así de grasas, carbohidratos totales, cenizas y humedad. Hubo un efecto positivo de la fertilización nitrogenada sobre los contenidos de lisina, isoleucina, triptófano, treonina, metionina e histidina.

Palabras clave: aminoácidos, análisis químico proximal, sulfato de amonio, urea, urea de liberación controlada.

Effect of doses and nitrogen sources on yield and nutritional quality of corn kernel (*Zea mays* L.)

ABSTRACT

To evaluate the effect of doses and nitrogen sources on yield and nutritional quality of corn kernel, a trial was conducted at Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela. The experimental design was a randomized block, with four replications. Plots were 21.6 m², containing 6 rows 4 meters length, spaced 0.9 m apart and 0.25 m between plants. Doses and sources were combined to generate six treatments plus a control without nitrogen. Three nitrogen sources were applied: regular urea (UC), ammonium sulfate (SA) and slow release nitrogen urea (ESN). Doses applied were 55 and 110 kg/ha, and they were added 20 kg/ha P₂O₅ and 60 kg/ha K₂O. Number of days elapsed until flowering and plant maturity, yield, number of rows per ear and kernels per ear, ear diameter

*Autor de correspondencia: Marta Barrios

E-mail: martabarrios3@gmail.com

and nitrate in sap and soil, were determined, as well as a proximate analysis and amino acids contents of harvested grain. Nitrogen improved yield, without differences between doses for each source, and propitiated more time elapsed till flowering and plant maturity. Kernels per row, rows per ear and 1000 kernels weight increased with nitrogen fertilization from ESN and SA. Soil and sap nitrate content was higher at ESN higher dose. Nitrogen fertilization improved protein and fiber contents but not the fat, total carbohydrates, ashes and grain moisture. There was a positive effect of nitrogen fertilization on lysine, isoleucine, tryptophan, threonine, methionine and histidine.

Key words: aminoacids, ammonium sulfate, Environmentally Smart Nitrogen, proximate analysis, urea.

INTRODUCCIÓN

En América Latina el maíz representa un rubro estratégico para la seguridad alimentaria, por su alto valor energético. La fertilización nitrogenada, además de incrementar los rendimientos gracias a mayor número y peso de granos, también mejora su calidad física y la de algunos de sus componentes químicos (Cruciani *et al.*, 2013). La calidad nutricional del maíz es actualmente incluida en los programas de mejoramiento y diversas investigaciones se han orientado a evaluar la influencia de las prácticas agronómicas sobre los elementos constitutivos químicos y el valor nutritivo del grano. La fertilización nitrogenada ha contribuido a la obtención de altos rendimientos, los cuales dependen directamente de las variaciones en la disponibilidad de N en el suelo que pueden afectar el crecimiento y rendimiento del cultivo e incidir significativamente en la calidad del grano de maíz, ya que el aumento de la fertilización nitrogenada produce un incremento en el rendimiento y aumenta el contenido proteico del grano (Governatori y Uhart, 1997). El maíz es un producto cuya calidad de proteína está limitada por la deficiencia de lisina y triptófano (Díaz *et al.*, 2009) y por el desbalance entre leucina e isoleucina (Bressani, 1990). Ya que en Venezuela los materiales de maíz que aún se siembran son principalmente evaluados por su comportamiento agronómico y no por la calidad nutricional del grano (Barrios y Basso, 2018), el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre parámetros de rendimiento y la calidad nutricional del grano de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental del Instituto de Agronomía de la Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela (10° 16'52" N 67° 36'22" O). La zona se caracteriza por precipitaciones y temperaturas anuales promedio de 956 mm y 26,3 °C respectivamente (Estación Climática

CENIAP: Latitud: 10°17'N; Longitud: 67°37'O, altitud: 455 msnm). El suelo pertenece a la serie Maracay, clasificado como Fluvaquentic-haplustolls, franco arenoso, isohipertérmico, de mineralogía mixta. Las características del suelo se presentan en el Cuadro 1.

Diseño del experimento

Se evaluó el híbrido de maíz blanco semi cristalino SK 393, con alta adaptación a condiciones tropicales. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con 4 repeticiones y se aplicaron al suelo tres tipos de fertilizante nitrogenado: urea convencional (UC), sulfato de amonio (SA) y urea de liberación controlada (ESN: Environmentally Smart Nitrogen), en dos dosis cada una: 55 y 110 Kg/ha. Las dosis y fuentes de nitrógeno fueron combinadas para generar 6 tratamientos, más un testigo sin nitrógeno (Cuadro 2): El fertilizante fue aplicado manualmente, en dos fracciones, a la siembra y 30 días después de la siembra (dds), colocando una banda de fertilización 5 cm por debajo y al lado de la semilla y se aplicaron además 20 kg/ha de P₂O₅ y 60 kg/ha de K₂O (todo a la siembra).

El área de las parcelas fue de 21,6 m² y cada una estuvo conformada por seis hileras de 4 m de longitud y 0,9 m de separación, y una distancia entre plantas de 0,25 m. Se realizó control de malezas con escardilla manual y aplicaciones dirigidas de glifosato a una dosis de 3 L/ha. Para el control de cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se hicieron aplicaciones de 0,4 L/ha de lambdacihalotrina. Se aplicó una lámina de agua de 5 mm/d de riego suplementario por surcos, cada 2 días.

Variables evaluadas

Variables agronómicas y de productividad

Rendimiento en grano: Se cosecharon manualmente 10 m² en cada unidad experimental; cosechadas las mazorcas, se trillaron manualmente y se determinó

Cuadro 1. Análisis físico y químico del suelo de la zona de estudio

Prof. (cm)	Arcilla	Limo %	Arena	Textura	pH 1:1 agua	CE (dS/m)	MO (%)	P mg/Kg	K mg/Kg	Ca mg/Kg
0-30	16,8	40,2	43	Fa	7,18	0,13	1,24	139	22	1656
30-60	9,96	29	61	Fa	7,32	0,071	1,10	61	4	891

Fa: Franco arenoso, MO: Materia orgánica, CE: Conductividad eléctrica

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos de fertilización aplicados en el ensayo

Fuente de nitrógeno	Tratamientos	Dosis de Fertilizante (kg/ha)	Dosis de nitrógeno (kg/ha)
Testigo (0 N)	T0	0	0
Urea convencional (46% N)	T1	D1 120	55
	T2	D2 240	110
Sulfato de amonio (21% N)	T3	D1 262	55
	T4	D2 524	110
ESN (44% N)	T5	D1 125	55
	T6	D2 250	110

la humedad del grano en madurez fisiológica con un medidor de humedad marca Steinlite modelo SB900, Des Plaines, EUA. Estos registros se utilizaron para expresar el rendimiento al 12% de humedad del grano.

Días a floración (DFlor): se obtuvieron cuantificando el lapso transcurrido desde la siembra hasta que el 50% de las plantas en la parcela habían florecido.

Días a maduración (DMad): se obtuvieron al cuantificar el período transcurrido desde la siembra hasta que el 50% de las plantas en la parcela habían adquirido la coloración característica de madurez.

Granos por hilera (G/Hil), hileras por mazorca (Hil/Maz), diámetro de la mazorca (DiaMaz) (cm) y peso de 1 000 granos (g) (PMG). Se determinaron en diez mazorcas muestreadas al azar en cada parcela. El peso de 1 000 granos se estimó en una balanza AX 1 000 g y 0,1 g de precisión, ajustando la humedad del grano a 12%, y para obtener el diámetro (cm) se midió la parte central de la mazorca.

Nitrato en la planta: para estas determinaciones se utilizó un electrodo ion específico de NO_3^- Cardi Plant Nutrient Meter, Horiba. A los 120 dds se muestreó la hoja de la mazorca de ocho plantas, de las dos hileras centrales de cada parcela, de las cuales se separaron las hojas, estas se cortaron en trozos y se colocaron en una prensa hidráulica para extraerles la savia, la cual fue refrigerada a 5 °C. Para la determinación de los nitratos las muestras se dejaron a temperatura ambiente y la lectura se realizó en una gota de savia.

Nitrato en el suelo: Se realizó un muestreo de suelo 120 dds, coincidente con el muestreo de tejido vegetal. Para la determinación de nitratos en el suelo, las muestras fueron secadas a 50 °C, molidas y pasadas por un tamiz N° 2. Se tomaron 40 g de suelo a los que se adicionaron 100 mL de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0,025 F; se agitó constantemente durante 30 minutos y se filtró. Estos extractos fueron posteriormente utilizados para la determinación de nitratos en un analizador de iones Lachat, mod. QuickChem AE.

VARIABLES DE CALIDAD NUTRICIONAL DEL GRANO

Análisis químico proximal y de aminoácidos del grano

El grano se analizó a un contenido aproximado de 12% de humedad. Para determinar la calidad nutritiva del grano se realizó un análisis químico proximal (humedad, cenizas, proteínas, fibra cruda, extracto etéreo y carbohidratos totales disponibles) siguiendo la metodología descrita en el Manual de Procedimientos del Laboratorio de Nutrición Animal del INIA-CENIAP Maracay, y de aminoácidos, los cuales fueron determinados en el Laboratorio SEDICOMVET, Maracay, estado Aragua, Venezuela.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados utilizando el programa estadístico Statistix 8.0; se realizaron análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental utilizado y prueba de medias según Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días a floración y a maduración

Para estos parámetros, se obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos y el testigo sin nitrógeno (Cuadro 3). La mayor cantidad de días a floración y a maduración se obtuvieron en los tratamientos a base de SA y urea ESN. El SA promueve una mayor disponibilidad de nitrógeno para la planta ya que el nitrógeno amoniacal resiste más las pérdidas por volatilización, lavado y desnitrificación en comparación a la urea convencional (Barrios *et al.*, 2012). Debido a estas propiedades, una mayor disponibilidad de N favorece el alargamiento del ciclo del cultivo y por ende una mayor productividad (Ventimiglia y Torrens, 2015). Por su parte, la urea ESN, al ser un fertilizante de liberación controlada de nitrógeno, favorece también una mayor disponibilidad de este nutriente, al disminuir las pérdidas por lavado, por desasimilación o desnitrificación del nitrato o por volatilización del amoníaco una vez que ha ocurrido la nitrificación aerobia, prolongando el ciclo del cultivo e incrementando los niveles de rendimiento (Barbieri *et al.*, 2010).

RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

Se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo sin nitrógeno ($P \leq 0,05$) (Cuadro 3). Los mayores rendimientos se alcanzaron en los tratamientos con ESN, seguidos por los tratamientos con SA; no se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las dosis baja (55 kg/ha) y alta (110 kg/ha) de N para ninguna de las tres fuentes aplicadas. En general, el aprovechamiento del N por la planta disminuye a medida que las dosis de fertilizante son mayores (Pire y Colmenarez, 1994), lo que afectaría los niveles de productividad. Diversos autores han señalado una mayor eficiencia en la utilización del N absorbido a dosis más bajas de N, cuando el cultivo tiene baja disponibilidad y hay una menor extracción del nutriente (Cox y Cherney, 2001; Cueto-Won *et al.*, 2006); esto es debido a que la planta acumula mayor cantidad de N en sus tejidos y lo removiliza más rápidamente hacia la mazorca y los granos a dosis más bajas, que bajo condiciones de elevada suplencia de N (dosis mayores) (Uhart y Andrade, 1995). La urea ESN permite una liberación lenta o controlada del N gracias a la cubierta que recubre el gránulo, constituida por un polímero especial a base de aceite de ricino. Este tipo de fertilizante, considerado como mejorador de la eficiencia de uso del N por el cultivo, disminuye las pérdidas por desnitrificación, lavado o volatilización, contribuyendo a una mayor absorción de N por la planta y a la reducción de la pérdida potencial de nutrientes y gases al ambiente (Walsh y Girma, 2016). Estas propiedades permiten además optimizar la sincronía entre la disponibilidad de N en el suelo y los requerimientos de la planta, favoreciendo una mayor productividad. En el caso del SA en comparación a la urea convencional, este resultado puede deberse al azufre presente en esta fuente nitrogenada y su efecto positivo en suelos de pH neutro o ligeramente alcalino como el del suelo de este estudio, además de que el requerimiento de azufre está muy relacionado con la cantidad de nitrógeno disponible para la planta, ya que ambos nutrientes son constituyentes de las proteínas y están asociados con la formación de clorofila (Barrios *et al.*, 2012). Resultados parecidos fueron señalados por Socorro *et al.* (2009), cuando utilizaron sulfato de amonio con el fin de evaluar la respuesta del arroz a la fertilización nitrogenada. Por otra parte, el N amoniacal es mucho más resistente que la UC a las pérdidas por volatilización, lavado o desnitrificación y está mucho más disponible para las plantas. El que las plantas

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento (Rend), hileras por mazorca (Hil/Maz), granos por hilera (G/Hil), peso de mil granos (PMG), días a floración (DFlor), días a maduración (DMad) y diámetro de mazorca (DiaMaz) del híbrido de maíz blanco DK 393.

Dosis y fuente de N	Rend (kg/ha)	Hil/Maz	G/Hil	PMG (g)	DFlor	DMad	Dia Maz
0N	5757,5 d	14 d	36,6 c	381,5 e	50 d	118 d	4,08 d
N55UC	6807,5 c	14,6 cd	37 c	390,75 d	52 c	122 c	4,2 cd
N110UC	6813,8 c	15 c	38,8 b	400,5 c	54 b	126 b	4,25 c
N55SA	7302,5 b	15,2 c	39,4 b	412,5 b	55 b	126 b	4,55 b
N110SA	7317,5 b	17 a	43 a	411,75 b	56 b	127 b	4,85 a
N55ESN	8312,5 a	16 b	42 a	424,5 a	56 b	126 b	4,80 a
N110ESN	8298,8 a	17 a	44 a	420,0 a	59 a	128 a	4,90 a
CV (%)	0,91	2,26	0,97	0,73	1,17	0,52	1,70

Medias con letras distintas en cada columna indican diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). UC: Urea Convencional, SA: Sulfato de Amonio, ESN: nitrógeno de liberación controlada.

absorban cierto porcentaje de N como amonio, antes de su transformación natural a nitrato, significa ahorro de energía para el cultivo, ya que el amonio es un paso más avanzado en la formación de aminoácidos y proteínas (Below, 2002; Ginés y Mariscal, 2002).

El análisis estadístico para el número de Hil/Maz, el número de G/Hil y el PMG mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos y el testigo, con excepción del número de G/Hil, el cual no presentó diferencias entre el testigo sin N y la dosis menor de urea convencional (55 kg/ha de N) (Cuadro 3). El mayor número de Hil/Maz se obtuvo a las dosis altas de SA y ESN (110 kg/ha). Los valores menores se alcanzaron en los tratamientos con urea convencional y el testigo. En este experimento tanto el número de G/Hil como de Hil/Maz fue favorecido por el N aplicado, incrementándose a las dosis mayores con respecto al testigo. Barbieri *et al.* (2000) y Stamp *et al.* (2000) indicaron que la aplicación de nitrógeno modifica positivamente algunos componentes del rendimiento. Osborne (2002) encontró que una adecuada suplencia de N en los momentos críticos del ciclo del cultivo, incrementa el peso de los granos, el número de Hil/Maz y el número de G/Hil. El PMG también fue afectado positivamente por la fertilización nitrogenada, obteniéndose diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos y el testigo (Cuadro 3); los mayores valores se alcanzaron en los tratamientos con ESN y

SA, sin que hubiesen diferencias significativas entre las dosis mayor y menor de N (55 y 110 kg/ha). La fuente, dosis y forma de aplicación del fertilizante influyen en un mejor aprovechamiento del nitrógeno por el cultivo, incrementando la fracción de N en la planta que puede pasar al grano (Ballesteros *et al.*, 2015). Una suplencia adecuada de N asegura además una biomasa foliar elevada, con alto contenido de carbohidratos en el tallo, que se irán translocando durante la maduración favoreciendo el incremento del peso de los granos (Díaz *et al.*, 2009); dicha translocación ocurre a una tasa más elevada bajo condiciones de menor disponibilidad de N a dosis más bajas, lo que probablemente causó que no hubiese diferencias entre la dosis baja y alta de N para ESN y SA.

Variaciones del nitrato en la planta y el suelo

En el Cuadro 4, se observa el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de nitratos en la savia del híbrido de maíz DK 393 y en el suelo, apreciándose diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos y con el testigo sin nitrógeno. Las mayores concentraciones de nitrato, tanto en la savia como en el suelo, se alcanzaron en los tratamientos con ESN y SA a la dosis mayor. Fuentes como el ESN incrementan la disponibilidad de N en el suelo, permitiendo un mejor aprovechamiento del nutriente por el cultivo (Grant, 2006). ESN retarda además la oxidación biológica

del amonio, disminuyendo así las pérdidas de N por volatilización y desnitrificación (Barrios *et al.*, 2010). Por otra parte, el SA disminuye casi totalmente las pérdidas por volatilización, debido principalmente a su composición estrictamente amoniacal y las condiciones de acidez que crea su hidrólisis (González y Sadeghian, 2012). Estos autores encontraron que las pérdidas por volatilización a partir del SA fueron 16 veces menores a las de la urea convencional. Adicionalmente, el SA es más resistente a las pérdidas por lavado y desnitrificación, por lo que el N disponible en el suelo para el cultivo será mayor (Barrios *et al.*, 2012). En el caso de la urea convencional, a ambas dosis se lograron valores mucho más bajos en comparación a las otras dos fuentes, aunque similares entre sí. Los tratamientos con UC solo se diferenciaron del testigo sin N ($P \leq 0,05$). La urea es una fuente nitrogenada que, al ser aplicada al suelo, puede fácilmente hidrolizarse y perderse el N por volatilización de amoníaco (Barrios *et al.*, 2010; Ferraris *et al.*, 2010; González y Sadeghian, 2012), permitiendo una menor recuperación y aprovechamiento del N por el cultivo, y también menor acumulación en el suelo.

Calidad nutricional del grano

En el Cuadro 5, se presentan los resultados del análisis proximal del grano, observándose que el mayor porcentaje de proteína se alcanzó a la dosis alta de ESN, con diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con

respecto al resto de tratamientos y al testigo sin N. Todos los tratamientos con N se diferenciaron del testigo para cada fuente y los mayores valores de proteína se alcanzaron a la dosis alta de N. Diversos investigadores han señalado que se logra un incremento en el contenido de proteína cruda del grano a través del aumento de la fertilización nitrogenada (Shapiro y Wortmann, 2006; Zepeda, 2007; Martínez *et al.*, 2009); estos resultados indican que la fertilización nitrogenada favoreció la absorción y asimilación por la planta del N aplicado, el cual finalmente se concentró en el grano. Es importante mencionar que, si bien es cierto que la composición química del grano está determinada por el factor genético, las prácticas de cultivo, las características del clima y el suelo también tienen un efecto significativo sobre algunos de esos componentes (Agama-Acevedo *et al.*, 2011). El manejo adecuado de la fertilización nitrogenada tiene un efecto determinante sobre la composición y cantidad de proteínas en el grano de maíz, las cuales son la fuente de N para la germinación y emergencia de la semilla (Benítez y Pfeiffer, 2006). La utilización de fuentes nitrogenadas de liberación controlada o resistentes a procesos de lavado o desnitrificación, como el ESN y el SA, aseguran un mejor aprovechamiento del N por el cultivo, disminuyendo además el riesgo de acumulación en el grano que pudiera resultar riesgosa para la salud, contaminante para el ambiente y conducente a pérdidas económicas (Stagnari *et al.*, 2007). En cuanto al contenido de fibra, se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre la concentración de NO_3^- en el suelo y en la planta de maíz, 120 días después de la siembra del cultivo.

Dosis y fuente de N	NO_3^- en la savia (mg/L)	NO_3^- en el suelo (mg/kg)
0N	63,0 g	0,60 f
N55UC	75,8 f	13,25 e
N110UC	80,1 e	14,3 e
N55SA	91,5 d	18,5 d
N110SA	125,1 b	25,3 b
N55ESN	102,5 c	21,2 c
N110ESN	155,8 a	40,5 a
CV (%)	2,17	5,94

Medias con letras distintas en cada columna indican diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). UC: Urea Convencional, SA: Sulfato de Amonio, ESN: nitrógeno de liberación controlada.

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre los contenidos de humedad, cenizas, extracto etéreo, proteínas, fibra y carbohidratos totales en el grano del híbrido de maíz blanco DK 393.

Dosis y fuente de N	Humedad (%)	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Proteínas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos totales (%)
0N	13,565 a	1,2400 a	4,3000 b	7,5750 f	2,6750 b	78,075 a
N55UC	13,537 a	1,2750 a	4,3700 ab	9,3400 e	3,1375 a	78,155 a
N110UC	13,543 a	1,2725 a	4,3775 a	9,595 de	3,2675 a	78,213 a
N55SA	13,540 a	1,2650 a	4,3750 ab	9,912 d	3,2425 a	78,157 a
N110SA	13,540 a	1,2675 a	4,3750 ab	10,012 c	3,2725 a	78,188 a
N55ESN	13,540 a	1,2575 a	4,3775 a	10,883 b	3,3300 a	78,242 a
N110ESN	13,540 a	1,2625 a	4,3650 ab	12,110 a	3,3325 a	78,237 a
CV (%)	0,10	1,55	0,74	1,47	2,95	0,11

Medias con letras distintas en cada columna indican diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). UC: Urea Convencional, SA: Sulfato de Amonio, ESN: nitrógeno de liberación controlada.

fertilizados y el testigo sin N. Resultados similares fueron conseguidos por Iglesias *et al.* (2014), quienes hallaron que la fertilización nitrogenada propició un incremento significativo ($P \leq 0,05$) del rendimiento y la fibra cruda cuando evaluaron el efecto de la fertilización nitrogenada de maíz sobre la composición de nutrientes del grano. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para el contenido de grasas y aceites (extracto etéreo) entre algunos tratamientos y el testigo, sin embargo la mayoría tuvo un comportamiento similar. Tanto el contenido de aceite como su composición relativa de ácidos grasos están bajo control genético, con el que se persigue aumentar el tamaño relativo del germen y elevar el contenido total de aceite en la semilla (Eyhérbide *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010; Eyhérbide, 2013). Los valores alcanzados para grasas y aceites son normales para el maíz. No se apreciaron diferencias significativas para el contenido de cenizas y carbohidratos totales, componentes también determinados genéticamente (FAO, 1993; Eyhérbide, 2006), por lo que la fertilización nitrogenada tendría poca influencia sobre las variaciones en la cantidad y calidad de los mismos. En relación al contenido de humedad del grano, en este estudio no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque algunos autores han encontrado que el N favorece la disminución de la humedad al momento de la cosecha (Bender *et al.*, 2013; Barrios y Basso, 2018).

En el Cuadro 6 se presentan los resultados del perfil de aminoácidos en el grano del híbrido de maíz DK 393. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos de fertilización y el testigo sin N para lisina, isoleucina, triptófano, treonina, metionina e histidina; sin embargo, los valores obtenidos no están en los niveles considerados suficientes por el comité de expertos FAO-OMS-UNU (2004). Los aminoácidos determinantes de la calidad de las proteínas, especialmente lisina y triptófano, se encuentran en cantidades muy bajas en el grano de maíz, siendo deficiente también en contenidos de isoleucina, metionina e histidina. En el maíz la calidad de las proteínas es determinada genéticamente (Díaz *et al.*, 2009), mientras que la cantidad de proteínas en el grano aumenta debido a la fertilización nitrogenada. Un aumento en el porcentaje de proteínas implica también un aumento en los contenidos de lisina y triptófano, así como también del resto de aminoácidos. Vivek *et al.* (2008) y Martínez *et al.* (2009) encontraron una correlación positiva y significativa entre el contenido de nitrógeno y los de lisina y triptófano, por lo que son explicables las diferencias entre los tratamientos fertilizados y el testigo, obtenidas en este trabajo. Los bajos contenidos de lisina y triptófano de este híbrido indican que no ha sido objeto de mejoramiento de la calidad proteica del grano.

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre el contenido de aminoácidos en el grano del híbrido de maíz blanco DK-393.

Dosis y fuente de N	Aminoácidos (g por 100 g de proteína)									
	Lisina	Leucina	Isoleu	Triptof.	Treonin	Valina	Metion.	Fenilal.	Histid	Argin.
0N	2,13 c	12,35 a	4,45 b	0,56 b	3,18 b	4,14 a	1,36 b	4,52 a	2,36 b	3,71 a
N55UC	2,21 b	12,30 a	4,66 a	0,62 a	3,32 a	4,14 a	1,47 a	4,54 a	2,72 a	3,71 a
N110UC	2,26 a	12,33 a	4,63 a	0,63 a	3,33 a	4,13 a	1,47 a	4,54 a	2,74 a	3,78 a
N55SA	2,26 a	12,34 a	4,65 a	0,64 a	3,36 a	4,13 a	1,47 a	4,55 a	2,74 a	3,78 a
N110SA	2,28 a	12,34 a	4,69 a	0,65 a	3,33 a	4,14 a	1,45 a	4,54 a	2,69 a	3,81 a
N55ESN	2,28 a	12,33 a	4,72 a	0,64 a	3,36 a	4,14 a	1,48 a	4,54 a	2,76 a	3,77 a
N110ESN	2,29 a	12,34 a	4,75 a	0,64 a	3,38 a	4,13 a	1,49 a	4,55 a	2,75 a	3,84 a
CV (%)	0,82	0,23	1,35	1,30	1,10	0,32	1,86	0,41	1,80	1,72

Medias con letras distintas en cada columna indican diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Isoleu: Isoleucina, Triptof: Triptofano, Treonin: Treonina, Metion: Metionina, Fenilal: Fenilalanina, Histid: Histidina, Argin: Arginina

CONCLUSIONES

La fertilización nitrogenada permitió el alargamiento del ciclo de cultivo, evidenciado por una mayor cantidad de días a floración y a maduración, siendo la urea ESN y el SA las fuentes que promovieron una mayor disponibilidad de N para el cultivo. El nitrógeno aplicado también incrementó los rendimientos, indicando una mayor eficiencia de este híbrido en la utilización del N a dosis más bajas y que la urea ESN y el SA son fuentes que benefician la disponibilidad de N para la planta. Los componentes del rendimiento también fueron favorecidos por la fertilización nitrogenada, lográndose valores mayores de granos por hilera, hileras por mazorca y peso de mil granos con la urea ESN y el SA. Con respecto a los contenidos de nitrato en el suelo y en la savia, los mayores valores se consiguieron a las dosis más altas de ESN y SA, lo que indica que estas fuentes incrementan la disponibilidad de N en el suelo, permitiendo un mejor aprovechamiento del nutriente por el cultivo. En cuanto a la calidad nutricional del grano, la fertilización nitrogenada tuvo efecto positivo sobre el contenido de proteínas y de fibra, así como de los niveles de algunos aminoácidos esenciales, a pesar de que los valores obtenidos estuvieron por debajo de los requerimientos nutricionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agama-Acevedo, E.; Y. Salinas-Moreno; G. Pacheco-Vargas; L. A. Bello-Pérez. 2011. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: Morfología del almidón. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2: 317-329.
- Ballesteros, E.; E. Morales; O. Mora; E. Santoyo; G. Estrada; F. Gutiérrez. 2015. Manejo de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento de Triticale. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6 (4): 724-733.
- Barbieri, P.; H. Sainz; F. Andrade; H. Echeverría. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agronomy Journal* 92: 283-288.
- Barbieri, P. A.; H. E. Echeverría; H. R. Sainz Rozas; M. Maringolo. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 28 (1): 57-66.
- Barrios, M.; R. Killorn; J. García. 2010. Nitrificación del amonio a partir de un fertilizante de liberación controlada y urea convencional en dos suelos de Iowa, EEUU. *Bioagro* 22 (3): 193-200.

- Barrios, M.; L. Villarreal; K. Ferez; C. Basso. 2012. Evaluación del efecto de tres fuentes nitrogenadas sobre la absorción de nitrógeno y el rendimiento de maíz. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 29(2): 202-227.
- Barrios, M.; C. Basso. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *Bioagro* 30(1): 39-48.
- Below, F. 2002. Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. *Informaciones Agronómicas, Potafos*: 99: 7-12.
- Bender, R. J.; J. Haegele; M. Ruffo; F. Below. 2013. Nutrient uptake, partitioning and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal* 105 (1): 161-170.
- Benítez, C.; H. Pfeiffer. 2006. El maíz: Origen, composición química y morfología. *Mat. Avanz.* 7: 15-20.
- Bressani, R. 1990. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. *Food Revs. Inter.* 6: 225-264.
- Cox, W. J.; D. Cherney. 2001. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agronomy Journal* 93: 597-602.
- Cruciani, M. A.; A. González; S. Papucci; H. Pedrol. 2013. Fertilización nitro azufrada: rendimiento y calidad en híbridos de maíz. *Cien. Agron.* 22: 21-25.
- Cueto-Won, J. A.; D. Reta; J. L. Barrientos; G. González; E. Salazar. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 29 (2): 97-101.
- Díaz, G.; F. Sabando; S. Zambrano; G. Vásquez. 2009. Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de los ríos. *Ciencia y Tecnología* 3: 15-23.
- Eyhéabide, G. 2006. Maíz y Nutrición: informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Recopilación de ILSI, Argentina. Serie de Informes Especiales. Volumen II. 73 p.
- Eyhéabide, G.; M. Percibaldi; F. Borrás; D. Presello. 2010. Respuesta a la selección recurrente fenotípica por composición relativa de ácidos grasos en maíz. *Actas IX Congreso Nacional de Maíz. AIANBA, Rosario*: 325-327.
- Eyhéabide, G. H. 2013. Determinantes genéticos de la calidad de maíz. *INTA Jornada de Actualización Calidad del grano de maíz para la industria y la producción en bovinos. Balcarce, 15 de Noviembre de 2013*. En: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47598/Documento_completo.pdf?sequence=1 [Consultado: 15/01/2018].
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección Alimentación y Nutrición. N° 25. Roma.
- FAO-OMS-UNU. 2004. Human Energy Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Roma, FAO, FAO Food and Nutrition Tech. Rpt. Ser. 1.
- Ferraris, G. N.; L. A. Couretot; M. Toribio. 2010. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz en pergamino (bs as). Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. En: <http://www.fertilizando.com/articulos/perdidas-nitrogeno-volatilidad-maiz.pdf> [Consultado: 04/01/2018].
- Ginés, I.; I. Mariscal-Sancho. 2002. Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. *Fertiberia S.A España*. En: http://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL_MONO_2002_01.pdf [Consultado: 03/01/2018].
- Grant, C. 2006. Agricultural management of enhanced efficiency fertilizer. *Symp. Use of Enhanced Efficiency Fertilizers for Improved Agricultural nutrient Management. ASA-CSSA-SSSA. Indianapolis, IN*. 13 p.
- González, O. H.; S. Sadeghian. 2012. Volatilización del nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café. *Revista Cenicafé* 63 (1): 132-143.
- Governatori, S.; S. Uhart. 1997. Efecto de la disponibilidad del nitrógeno sobre la calidad física de los granos de cultivares de maíz liberados en diferentes épocas. En el VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. Bs. As. Argentina 2: 46-53.

- Iglesias, B.; F. Ferraguti; J. Azcona; V. Charriere; M. Schang. 2014. Efecto de la fertilización nitroazufrada de maíz sobre la composición de nutrientes del grano. 2014 Poultry Science Association Annual Meeting. En: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/efecto-fertilizacion-nitroazufrada-maiz-t31503.htm> [Consultado: 14/02/2018].
- Martínez, M.; C. R. Ortiz; N. Palacios. 2009. Caracterización nutricional del grano de 50 accesiones de maíz cubano. *Cultrop* 30 (2): 80-88.
- Osborne, L.; S. Scheppers; D. Francis; R. Schlemmer. 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. *Crop Sci.* 42: 165-171.
- Pire, R.; O. Colmenarez. 1994. Extracción y eficiencia de recuperación de nitrógeno por plantas de pimentón sometidas a diferentes dosis y fraccionamientos del elemento. *Agronomía Tropical* 46 (4): 353-369.
- Shapiro, C. A.; C. S. Wortmann. 2006. Corn response to nitrogen rate, row spacing and plant density in Eastern Nebraska. *Agron. J.* 98: 529-535.
- Socorro, M.; R. Quesada; R. Sanzo; R. Saborit; P. Meneses; P. Martínez. 2009. Efecto del empleo del sulfato de amonio, urea y sulfato de potasio sobre el rendimiento del arroz en dos tipos de suelos. En: [http://www.actaf.co.cu/revistas/revista-grano/Revista%20en%20PDF%20\(Vol%209%20No%202\)/trabajo10.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista-grano/Revista%20en%20PDF%20(Vol%209%20No%202)/trabajo10.pdf) [Consultado: 12/02/2018].
- Stagnari, F.; V. Di Bitetto; M. Pisante. 2007. Effects of nitrogen fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in processing spinach genotypes. *Scientia Horticulturae* 114: 225-233.
- Stamp, P.; S. Schowchong; M. Menzi; U. Weingarther; O. Kaiser. 2000. Increased in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop Sci.* 40: 1586-1587.
- Uhart, S. A.; F. H. Andrade. 1995. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. *Crop Sci.* 35:183-190.
- Ventimiglia, L.; L. Torrens. 2015. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento de soja. UCT Agrícola Ganadera. INTA. Pergamino. Argentina. En: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_9_de_julio_efecto_de_la_fertilizacin_sobre_el_re.pdf [Consultado: 10/01/2018].
- Vivek, B. S.; A. F. Krivanek; N. Palacios-Rojas; S. Twumasi-Afriyie; A. O. Diallo. 2008. Breeding Quality Protein Maize (QPM): protocols for developing QPM cultivars. CIMMYT, Mexico, DF, Mexico.
- Walsh, O.; K. Girma. 2016. Environmentally Smart Nitrogen performance in Northern Great Plains Spring Wheat Production Systems. *International Journey of Agronomy*. Volume 2016 (2016), Article ID 8969513, 12 p. En: <https://www.hindawi.com/journals/ija/2016/8969513/> [Consultado: 03/02/2018].
- Zepeda, B.; R. A. Carballo; C. A. Muñoz; O. J. Mejía; C. B. Figueroa; S. González. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamaltortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33: 17-24.
- Zhang, J.; J. Martin; B. Beecher; C. Lu; L. Curtis; M. Wall; I. Altosaar; M. Giroux. 2010. The ectopic expression of the wheat Puroindoline genes increase germ size and seed oil content in transgenic corn. *Plant Mol. Biol.* 74: 353-365