

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRICIONAL DEL GRANO DE SEIS HÍBRIDOS DE MAÍZ

Marta Barrios¹ y Carmen Basso¹

RESUMEN

Para evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad del grano de maíz se realizó un experimento en el Asentamiento Campesino Arenales, municipio Zamora, estado Aragua, Venezuela. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. En las parcelas principales se consideraron seis híbridos de maíz: dos semidentados, dos semicórneos y dos córneos, y en las parcelas secundarias cuatro tratamientos de fertilización. Cada unidad experimental estuvo conformada por parcelas de 3,6 x 4,0 m con cuatro hileras de 4 m de largo y 0,9 m de separación, con una distancia entre plantas de 0,20 m. Los tratamientos empleados fueron 0, 100, 150 y 200 kg·ha⁻¹ de N. El fertilizante (úrea) se aplicó en dos fracciones: durante la siembra y 30 días después; además, se aplicaron 35 kg·ha⁻¹ de P₂O₅ y 60 kg·ha⁻¹ de K₂O (a todas las plantas durante la siembra). Se determinó el tiempo transcurrido hasta la floración y maduración de la planta, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras de granos por mazorca, peso de mil granos y rendimiento; así mismo, se realizó análisis químico proximal y de aminoácidos al grano cosechado. Todos los híbridos presentaron mayores rendimientos con la dosis de 150 kg·ha⁻¹ de N y se encontró un efecto positivo y significativo (P≤0,05) de la fertilización nitrogenada sobre los parámetros de productividad. El mayor número de días transcurridos hasta la floración y la maduración lo presentó el híbrido DK-7088. Los mayores porcentajes de proteínas se obtuvieron en los tratamientos fertilizados, aunque en promedio, los híbridos de mayor rendimiento presentaron menores tenores de proteína. La fertilización nitrogenada influyó positivamente en el contenido de lisina. **Palabras clave adicionales:** Aminoácidos, córneo, proteínas, semicórneo, semidentado

ABSTRACT

Effect of nitrogen fertilization on yield components and grain quality of six corn hybrids

To evaluate the effect of nitrogen fertilization on corn yield and grain quality, a trial was conducted at a rural settlement in Arenales, Aragua State, Venezuela. An experimental design in randomized complete blocks with a split plot arrangement of treatments with three repetitions was used. Main plots were six corn hybrids: two semi-dents, two semi-flints and two flints, and subplots were fertilization treatments. Each experimental unit had plots of 3.6 x 4.0 m with four rows 4 m length spaced 0.9 m apart and 0.20 between plants. The N fertilizer was applied in two fractions: at planting time and 30 days after. Three rates were used (100, 150 y 200 kg·ha⁻¹) plus a control without N fertilizer. Additionally, all plants received 35 kg·ha⁻¹ P₂O₅ and 60 kg·ha⁻¹ K₂O at planting time. Number of days elapsed until flowering and plant maturity, ear length and diameter, number of rows of grains per ear, weight of 1000 grains and yield were determined; it was carried out a proximal chemical analysis and amino acids in harvested grain as well. All hybrids showed higher yields at 150 kg·ha⁻¹ N. Results indicated a positive and significant effect of nitrogen fertilization over productivity parameters. The hybrid DK-7088 had the longest time from sowing to flowering and to ripening. The higher protein percentages were obtained in fertilized treatments, although as an average, the hybrids with the highest yields showed the lowest levels of protein. Nitrogen fertilization influenced positively lysine content.

Additional key words: Amino acids, flint, proteins, semident, semiflint

INTRODUCCIÓN

El maíz es un producto de vital importancia, no solo por su elevado contenido energético sino por su capacidad como fuente de energía alternativa y su utilización como materia prima para producir

almidón y derivados, como edulcorantes, aceite y alcohol. Estos últimos pueden ser además utilizados como materia prima en la industria química y en algunos casos como reemplazo de los derivados del petróleo (Varela, 2007; Robutti, 2015). La calidad nutritiva del grano de maíz

Recibido: Febrero 17, 2017

Aceptado: Septiembre 18, 2017

¹ Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 2101. Maracay, Venezuela. e-mail: martabarrios3@gmail.com; basofiguera@hotmail.com

viene determinada por la composición de aminoácidos de sus proteínas (Ortiz, 2006), mientras que su textura y dureza están determinadas por su constitución física. En Venezuela la industria de la molienda seca para producción de harina precocida requiere de estándares específicos en lo que concierne a la dureza del endospermo y peso volumétrico, aunque cada vez más se interesan por el contenido de proteínas, aminoácidos, almidón, aceite y cenizas (Bianco et al., 2014). El maíz es un producto con alto contenido de carbohidratos y bajo tenor de proteínas, las cuales están constituidas principalmente por zeína y carecen casi por completo de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano (Ortiz, 2006). En el embrión se localizan las proteínas de mayor calidad (albúminas y glutelinas); sin embargo, éstas son removidas durante la molienda seca (Suárez-López et al., 2006). En Venezuela los materiales de maíz utilizados han sido evaluados en función de su comportamiento agronómico y poco se ha dedicado a estudiar los aspectos que determinan la calidad del grano, y cuando se ha hecho, se limita a la determinación del contenido de proteínas. Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de conocer y evaluar los parámetros de producción y calidad de seis híbridos de maíz en una zona maicera de Venezuela, y cómo estos son modificados por prácticas del manejo agronómico como la fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en el Asentamiento Campesino Arenales, Distrito Zamora, estado Aragua Venezuela (10° 6' N, 67° 35' W). La zona de estudio presenta suelos pertenecientes a la serie Tocarón, caracterizados por un alto contenido de arcilla en todo el perfil, texturas franco-arcillosas a arcillosas, sin reacción calcárea, estructura poco desarrollada, drenaje regular, pH 6,6-8,0, materia orgánica 2,5%, N total 0,124% y CE 1,3 dS m⁻¹; la precipitación máxima es de 1408 mm y la mínima de 701 mm; las temperaturas máximas y mínimas fueron 33,17 y 22,88 °C, respectivamente (Estación Climática Santa Cruz Edafológica, estado Aragua, Venezuela. Registros 1993-2013).

Diseño del experimento. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas

con tres repeticiones. En las parcelas principales se consideraron seis híbridos de maíz con diferentes texturas del endospermo: dos semidentados (DK-370, DK-7088), dos semicórneos (DK-357, DK-1596) y dos córneos (DK-6004, DK-777) y en las parcelas secundarias, los tratamientos de fertilización. Cada unidad experimental estuvo conformada por parcelas de 3,6 x 4,0 m, con cuatro hileras de 4 m de largo y 0,9 m de separación; la distancia entre plantas fue de 0,20 m. El fertilizante fue aplicado manualmente, en bandas, 5 cm por debajo y al lado de la semilla. La fuente nitrogenada (úrea- 46 % N) se aplicó en dos fracciones iguales: durante la siembra y 30 días después. Se utilizaron tres dosis de N más un testigo sin fertilizar. Las dosis empleadas fueron: 0, 100, 150 y 200 kg·ha⁻¹ de N. Se aplicaron además 35 kg·ha⁻¹ de P₂O₅ como súper fosfato triple y 60 kg·ha⁻¹ de K₂O como cloruro de potasio a todas las plantas al momento de la siembra. Se realizó control químico y manual de malezas, insectos plaga y enfermedades, y se aplicó riego suplementario.

Variables agronómicas, de productividad y de calidad

- **Días hasta floración (DFLOR).** Se obtuvieron al cuantificar el período transcurrido desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas en la parcela había florecido.

- **Días hasta maduración (DMAD).** Se cuantificó el período transcurrido desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas en la parcela había adquirido la coloración característica de madurez.

- **Rendimiento (REND).** Se cosecharon 10 m² de forma manual en cada unidad experimental; las mazorcas cosechadas fueron trilladas y se determinó la humedad del grano en madurez fisiológica; estos registros se utilizaron para expresar el rendimiento al 12 % de humedad.

- **Componentes del rendimiento.** Las siguientes variables se determinaron en diez mazorcas muestreadas al azar en cada parcela: número de hileras de grano por mazorca (HIL/MAZ), número de granos por hilera (G/HIL), peso de 1000 granos (PMG), longitud de mazorca (LMAZ) y diámetro de la mazorca (DIAMAZ). El peso de 1000 granos se estimó en una balanza con 0,1 g de precisión y el diámetro de la mazorca se midió en la parte central de la misma.

- **Calidad nutricional.** El grano se analizó a un contenido aproximado de 12 % de humedad. Mediante el análisis bromatológico se determinaron los contenidos de humedad, cenizas, extracto etéreo, proteínas, fibra y carbohidratos totales, siguiendo la metodología descrita en el Manual de Procedimientos del Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Los aminoácidos fueron determinados en el laboratorio comercial Sedicomvet, en Maracay, Venezuela.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días hasta la floración y maduración. Al evaluar los días a floración y a maduración se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$) (Cuadro 1). El híbrido DK-7088 presentó la mayor cantidad de días tanto a floración como a maduración a todas las dosis de N. En la mayoría de los híbridos el testigo sin N presentó menos días a floración y maduración que el resto de los tratamientos. Tanto los días a floración como a maduración en maíz son determinados genéticamente, aunque también pueden ser influenciados por características del ambiente como la humedad y la luminosidad (Faraldo et al., 2011). En este ensayo las condiciones ambientales fueron las mismas para todos los híbridos, por lo que las diferencias en cuanto a días a floración y maduración dependieron de las características genéticas de cada material sembrado y del manejo de la fertilización nitrogenada. Se observó que los híbridos con rendimientos más elevados (DK-370 y DK-7088) presentaron mayor cantidad de días a floración y a maduración, con diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las dosis 150 y 200 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. El resto de los híbridos presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos para los días a floración, mientras que se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos fertilizados y

el testigo sin nitrógeno para los días a maduración. Evidentemente el nitrógeno aplicado favoreció un período vegetativo más largo y un período de llenado del grano más prolongado que a su vez habría permitido una mayor intercepción de radiación y una tasa fotosintética más alta para una mayor producción de fotoasimilados y mayores rendimientos. Resultados similares fueron obtenidos por Lafitte (2001) y Rodríguez et al. (2014).

Rendimiento y sus componentes. En el Cuadro 1 se observa el efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre parámetros de productividad (rendimiento, hileras por mazorca, granos por hilera, peso de 1000 granos, longitud de mazorca y diámetro de mazorca) de seis híbridos de maíz de diferentes texturas de endospermo. La interacción híbrido x fertilización fue altamente significativa para todas las variables evaluadas ($P \leq 0,001$). Todos los híbridos presentaron los mayores rendimientos a la dosis de 150 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. El mayor rendimiento fue alcanzado por el híbrido semidentado DK-7088 (11.623 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) seguido por el semidentado DK-370 (9763 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). En este caso, una dosis mayor de N no se manifestó en un aumento proporcional del rendimiento para ninguno de los híbridos evaluados, lo que pudiera indicar un uso más eficiente del N a una dosis menor.

En muchos casos, dosis excesivas de N conducen a acumulación de nitratos en la vacuola y en los tejidos foliares, colmando la capacidad de absorción de N del cultivo, lo que podría resultar en un sistema radical poco desarrollado, plantas débiles, retraso en la producción y rendimientos menores, excesivo desarrollo foliar y aumento de la relación tallo/hoja. Lo anterior daría como resultado disminución del contenido de almidón, incidencia negativa en el peso y número de granos y disminución de la productividad del cultivo (Funaro y Paccapelo, 2001; Monza y Márquez, 2004).

Con relación al PMG, solo para los híbridos DK-370 y DK-6004 se obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las dosis 150 y 200 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. Para el resto de los híbridos no hubo diferencias significativas entre estas dosis, aunque sí con el testigo sin N, como se observa en el Cuadro 1. Es evidente que la fertilización nitrogenada tuvo un efecto importante en el

aumento de peso de los granos lo que se relaciona directamente con una mayor productividad del cultivo, ya que con la fertilización nitrogenada es posible aumentar la fracción de N de la planta que pasa al grano, lo cual también puede variar entre diferentes genotipos (Tsai et al., 1980; Swank et al., 1982; Ballesteros et al., 2015).

En cuanto al número de hileras por mazorca, este fue mayor al aplicar la dosis de $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para los híbridos DK-1596 y DK-7088 ($P\leq 0,05$) mientras que DK-6004 presentó mayor número de hileras a la dosis $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. Para el resto de los híbridos no hubo diferencias significativas entre las dosis 150 y $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N. El número de G/Hil presentó diferencias estadísticamente significativas ($P\leq 0,05$) entre las dosis de N y el testigo sin N. No se obtuvieron diferencias significativas entre las dosis 150 y $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ni para el número de G/HIL ni para la LMAZ, con excepción del DK-7088 que presentó diferencias entre ambas dosis para LMAZ. Con respecto al DMAZ, se observaron diferencias significativas ($P\leq 0,05$) entre los tratamientos fertilizados y el testigo sin nitrógeno. Esta variable es un componente indirecto del rendimiento que depende directamente de HIL/MAZ; de hecho, se observa en el Cuadro 1 la estrecha relación entre el diámetro de la mazorca y el número de hileras por mazorca.

Marcano y Ohep (1996) determinaron que la fuente utilizada y la forma de aplicación del fertilizante nitrogenado afectan la respuesta de la planta y encontraron que la aplicación de urea en forma fraccionada y en bandas habría permitido un mejor aprovechamiento del nitrógeno por el cultivo, favoreciendo mayores diámetros de mazorca en los tratamientos fertilizados.

El número de G/HIL y de HIL/MAZ constituyen factores importantes en el rendimiento del maíz y son afectados por la fertilización nitrogenada (Díaz et al., 2009). Un déficit de N en el cultivo puede resultar en una disminución del tamaño celular y de la síntesis de proteínas, produciéndose granos con menor contenido de materia seca y por ende con menos peso, y mazorcas más pequeñas con menor número de hileras de granos (Cordi et al., 1997). En este experimento ambos componentes del rendimiento fueron afectados positivamente por la fertilización nitrogenada, incrementándose en los tratamientos

fertilizados con respecto al testigo sin nitrógeno ($P\leq 0,05$). Lemcoff y Loomis (1986; 1994) y Osborne (2002) también hallaron que la disponibilidad de N incrementaba el peso del grano, el número de granos por mazorca y el número de hileras por mazorca. Barbieri et al. (2000) y Stamp et al. (2000) encontraron además que el déficit de nitrógeno disminuye el número de granos por mazorca y el rendimiento total.

Calidad nutritiva del grano. Los resultados del análisis proximal del grano de los materiales evaluados (Cuadro 2) mostraron que los mayores porcentajes de proteínas se obtuvieron en los tratamientos fertilizados, con diferencias significativas ($P\leq 0,05$) respecto al testigo sin nitrógeno; en general, los mayores porcentajes de proteínas se obtuvieron a las dosis más altas de N (150 y $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), con diferencias significativas entre ambas dosis en los híbridos DK-357 y DK-1596, mientras que para el resto no se observaron diferencias significativas entre las dosis de N pero sí con el testigo sin N. Se considera al nitrógeno un elemento esencial para el aumento del contenido de proteína cruda total en el grano de maíz y se requieren dosis adecuadas de fertilización nitrogenada para obtener el máximo de proteína.

El grado en el que se incrementan los diferentes tipos de proteínas es variable, pero la fertilización nitrogenada tiene una influencia determinante sobre el valor nutricional del grano (Cervantes et al., 2002; Miguez y Windauer, 2004). Es de destacar en este estudio que los híbridos de mayor rendimiento presentaron menores tenores de proteína en promedio, con respecto al resto. A mayor porcentaje de proteínas en la semilla menor cantidad de almidones en el endospermo, con la consiguiente disminución del peso del grano y de la productividad (Poey, 1973; Zepeda et al., 2009). Resultados similares fueron reportados por Díaz et al. (2009). Con respecto a la humedad del grano, no se encontraron diferencias significativas ($P> 0,05$) entre los tratamientos fertilizados, aun cuando para la mayoría de los híbridos sí las hubo con el testigo sin N. El N, al igual que el P, influye sobre la disminución del nivel de humedad en el grano al momento de la cosecha (Dhuyvetter y Schlegel, 1994; Bender et al., 2013). Los contenidos de cenizas, grasas, fibra y carbohidratos totales se encuentran entre los normales para maíz y en la

mitad de los casos no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0,05$). De acuerdo con Aguirrezábal y Andrade (1998), Acero et al. (2000) y Butzen (2015), las variaciones

de estos componentes en cuanto a su calidad y/o cantidad, requieren del mejoramiento genético ya que la fertilización con N tendría muy poca influencia sobre las mismas.

Cuadro 1. Efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre variables agronómicas, rendimiento y componentes del rendimiento de cinco híbridos de maíz con diferentes texturas de endospermo

| Dosis de N | DFLOR | DMAD | REND | HIL/MAZ | G/HIL | PMG | LMAZ | DIAMAZ |
|-----------------|------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | (kg·ha ⁻¹) | | | (g) | | | (cm) | (cm) |
| Híbrido DK-370 | | | | | | | | |
| N0 | 58,00 c | 123,00 d | 7606,7 d | 14,33 b | 35,67 c | 233,33 c | 16,68 c | 3,90 c |
| N100 | 58,67 b | 124,33 c | 9341,7 c | 14,67 ab | 40,67 b | 246,32 b | 17,09 b | 4,48 b |
| N150 | 59,15 a | 126,33 a | 9763,3 a | 16,00 a | 43,33 a | 251,85 a | 18,28 a | 4,92 a |
| N200 | 58,18 b | 125,00 b | 9404,3 b | 14,67 ab | 42,67 a | 248,50 b | 18,08 a | 4,86 a |
| Híbrido DK-7088 | | | | | | | | |
| N0 | 62,33 d | 132,33 c | 7523,0 d | 14,67 c | 40,67 c | 238,67 c | 16,67 b | 5,00 c |
| N100 | 64,00 c | 135,00 b | 9992,0 c | 16,00 b | 43,33 b | 255,00 b | 16,72 ab | 5,31 b |
| N150 | 65,00 b | 135,33 b | 11623,0 a | 19,33 a | 46,33 a | 278,00 a | 16,77 a | 5,50 a |
| N200 | 65,33 a | 136,60 a | 10846,0 b | 16,00 b | 44,67 ab | 280,33 a | 16,15 c | 5,40 ab |
| Híbrido DK-357 | | | | | | | | |
| N0 | 53,00 d | 122,33 c | 6000,0 d | 15,33 b | 27,57 c | 230,00 b | 13,25 c | 4,25 c |
| N100 | 54,67 c | 123,33 b | 7103,3 c | 16,00 b | 28,67 b | 248,10 a | 13,42 c | 4,61 b |
| N150 | 55,33 b | 125,00 a | 8806,7 a | 18,00 a | 31,33 a | 253,67 a | 15,73 a | 5,07 a |
| N200 | 56,33 a | 124,67 ab | 8220,0 b | 17,33 ab | 29,67 ab | 254,00 a | 14,98 b | 4,98 a |
| Híbrido DK-1596 | | | | | | | | |
| N0 | 51,33 d | 121,33 c | 6011,7 d | 17,67 c | 35,17 c | 201,33 c | 15,42 c | 5,17 c |
| N100 | 52,00 c | 122,33 b | 7280,0 c | 18,33 bc | 37,33 b | 240,00 b | 15,65 b | 5,32 b |
| N150 | 53,67 a | 124,67 a | 8602,0 a | 22,00 a | 42,67 a | 251,67 a | 16,01 a | 6,30 a |
| N200 | 53,07 b | 124,33 a | 8214,3 b | 19,33 b | 40,67 a | 251,33 a | 15,84 a | 6,22 a |
| Híbrido DK-777 | | | | | | | | |
| N0 | 52,00 d | 122,33 d | 6540 d | 14,74 c | 32,67 c | 232,67 b | 15,50 c | 4,08 d |
| N100 | 53,67 c | 123,00 c | 8519 c | 16,33 b | 38,33 b | 237,67 b | 16,35 b | 4,31 c |
| N150 | 54,33 b | 123,67 b | 9160 a | 17,52 a | 40,33 a | 249,00 a | 17,80 a | 5,19 b |
| N200 | 55,67 a | 124,00 a | 9007 b | 16,98 ab | 42,33 ab | 252,33 a | 17,96 a | 5,60 a |
| Híbrido DK-6004 | | | | | | | | |
| N0 | 55,33 d | 120,42 d | 6437 d | 15,51 c | 31,17 c | 222,67 c | 15,51 b | 4,09 d |
| N100 | 56,00 c | 121,52 c | 8317 c | 15,90 b | 38,93 b | 240,00 b | 15,90 b | 4,29 c |
| N150 | 57,67 a | 122,50 b | 9173 a | 16,03 b | 39,69 ab | 246,33 a | 16,03 ab | 4,69 a |
| N200 | 56,67 b | 124,00 a | 9007 b | 16,55 a | 40,87 a | 237,67 b | 16,35 a | 4,54 b |

DFLOR: número de días hasta floración, DMAD: número de días hasta maduración, REND: rendimiento, HIL/MAZ: número de hileras de grano por mazorca, G/HIL: número de granos por hilera, PMG: peso de 1000 granos, LMAZ: longitud de mazorca, DIAMAZ: diámetro de la mazorca

Medias con letras distintas en cada columna indican diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre los contenidos de humedad, y calidad nutricional del grano de cinco híbridos de maíz con diferentes texturas de endospermo

| Dosis de N | Humedad | Cenizas | Extracto etéreo | Proteínas | Fibra | Carbohidratos |
|-----------------|----------|---------|-----------------|-----------|---------|---------------|
| | (%) | | | | | |
| Híbrido DK-370 | | | | | | |
| N0 | 12,32 a | 1,42 a | 4,33 b | 7,28 c | 2,59 a | 73,65 a |
| N100 | 12,22 ab | 1,43 a | 4,51 a | 8,15 b | 2,58 a | 73,65 a |
| N150 | 11,86 c | 1,43 a | 4,36 b | 9,37 a | 2,60 a | 73,65 a |
| N200 | 12,16 b | 1,44 a | 4,41 ab | 9,20 a | 2,59 a | 73,69 a |
| Híbrido DK-7088 | | | | | | |
| N0 | 12,73 a | 1,26 b | 4,68 b | 8,27 c | 3,05 a | 76,50 a |
| N100 | 11,96 b | 1,29 ab | 4,70 a | 9,00 b | 3,07 a | 76,32 a |
| N150 | 11,95 b | 1,34 a | 4,67 ab | 9,91 a | 3,08 a | 76,32 a |
| N200 | 11,96 b | 1,29 ab | 4,67 ab | 9,69 a | 3,06 a | 75,86 b |
| Híbrido DK-357 | | | | | | |
| N0 | 12,42 a | 1,39 b | 5,24 b | 7,92 d | 2,58 a | 79,57 b |
| N100 | 11,91 b | 1,43 b | 5,21 ab | 9,25 c | 2,58 a | 79,58 b |
| N150 | 12,01 b | 1,46 ab | 5,28 a | 10,91 a | 2,57 a | 80,24 a |
| N200 | 12,06 b | 1,48 a | 5,20 ab | 9,80 b | 2,58 a | 79,57 b |
| Híbrido DK-1596 | | | | | | |
| N0 | 12,62 a | 1,29 a | 4,32 a | 7,74 c | 3,42 b | 73,85 a |
| N100 | 12,35 b | 1,30 a | 4,34 a | 10,23 b | 3,41 b | 73,90 a |
| N150 | 12,24 b | 1,31 a | 4,33 a | 11,23 a | 3,44 ab | 73,27 b |
| N200 | 12,21 b | 1,28 a | 4,34 a | 10,18 b | 3,46 a | 73,33 b |
| Híbrido DK-777 | | | | | | |
| N0 | 12,31 a | 1,28 a | 4,35 a | 8,81 c | 2,28 a | 72,81 a |
| N100 | 12,21 b | 1,29 a | 4,36 a | 10,19 b | 2,28 a | 72,80 a |
| N150 | 12,29 b | 1,27 a | 4,36 a | 10,53 a | 2,24 b | 72,79 a |
| N200 | 12,26 b | 1,31 a | 4,34 a | 10,36 ab | 2,23 b | 72,78 a |
| Híbrido DK-6004 | | | | | | |
| N0 | 12,67 a | 1,61 ab | 4,62 ab | 8,16 c | 2,31 ab | 74,20 a |
| N100 | 12,35 ab | 1,63 b | 4,58 b | 9,61 b | 2,30 ab | 74,21 a |
| N150 | 12,24 b | 1,69 a | 4,62 ab | 10,11 a | 2,34 a | 74,20 a |
| N200 | 12,21 b | 1,64 b | 4,65 a | 9,77 ab | 2,33 a | 74,19 a |

Medias con letras distintas en cada columna indican diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

El análisis del perfil de aminoácidos de los híbridos evaluados (Cuadro 3) mostró diferencias significativas entre las dosis de nitrógeno y el testigo sin N ($P \leq 0,05$) para el contenido de lisina, uno de los aminoácidos esenciales determinantes de la calidad de proteínas en el maíz. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con N, obteniéndose contenidos mayores de lisina a las dosis más altas (150 y 200 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N) en comparación al testigo sin N. Se debe mencionar que estos maíces no han sido

mejorados genéticamente en función de la calidad de sus proteínas; sin embargo, estos resultados indican que la fertilización nitrogenada influyó positivamente en el contenido de lisina, y que aun cuando la calidad protéica es una respuesta determinada genéticamente, la adición de N puede contribuir a ella, ya que este elemento es un componente importante de vitaminas y aminoácidos precursores de las proteínas (Miguez y Windauer, 2004; Zepeda et al., 2009). Otro factor importante de resaltar en este estudio es que

los híbridos de mayor rendimiento (DK-370 y DK-7088) presentaron menores contenidos de lisina que aquellos de menor rendimiento.

En general, la reducción de los almidones en el endospermo está asociada a un mayor porcentaje de

proteínas en el endospermo (Zepeda et al., 2009). El valor más alto de lisina alcanzado en estos híbridos fue de 3,83 mg por 100 g de proteína, lo que aún resulta bajo de acuerdo a los estándares de 4,2 mg por 100 g de proteína (FAO, 2007).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre el contenido de aminoácidos en el grano de cinco híbridos de maíz con diferentes texturas de endospermo

| Dosis de N | Aminoácidos (g por 100 g de proteína) | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------------|---------|----------|----------|--------|----------|--------|--------|---------|---------|
| | Lisina | Leucina | Isoleuc. | Triptof. | Treon. | Tirosina | Valina | AcAsp | AcGlut | Metion. |
| Híbrido DK-370 | | | | | | | | | | |
| N0 | 2,10 b | 11,64 a | 2,88 a | 0,43 a | 3,47 a | 3,02 a | 4,20 a | 6,35 a | 13,98 a | 1,48 a |
| N100 | 2,17 a | 11,63 a | 2,89 a | 0,43 a | 3,47 a | 2,96 b | 4,19 a | 6,36 a | 13,99 a | 1,47 a |
| N150 | 2,17 a | 11,64 a | 2,87 a | 0,44 a | 3,48 a | 2,91 b | 4,21 a | 6,35 a | 13,99 a | 1,48 a |
| N200 | 2,16 a | 11,65 a | 2,87 a | 0,42 a | 3,47 a | 2,84 c | 4,21 a | 6,35 a | 13,99 a | 1,48 a |
| Híbrido DK-7008 | | | | | | | | | | |
| N0 | 2,17 b | 13,66 a | 3,98 a | 0,47 a | 3,66 a | 3,18 a | 5,48 a | 5,84 a | 15,93 a | 1,39 a |
| N100 | 2,54 a | 13,69 a | 3,97 a | 0,47 a | 3,67 a | 3,17 a | 5,49 a | 5,85 a | 15,93 a | 1,41 a |
| N150 | 2,55 a | 13,67 a | 3,97 a | 0,48 a | 3,66 a | 3,17 a | 5,47 a | 5,85 a | 15,92 a | 1,41 a |
| N200 | 2,56 a | 13,69 a | 3,98 a | 0,48 a | 3,66 a | 3,18 a | 5,47 a | 5,85 a | 15,94 a | 1,40 a |
| Híbrido DK-357 | | | | | | | | | | |
| N0 | 2,49 b | 11,60 a | 2,29 a | 0,45 b | 2,81 a | 2,75 a | 4,27 a | 6,42 a | 14,21 a | 1,05 a |
| N100 | 2,60 a | 11,59 a | 2,30 a | 0,47 a | 2,82 a | 2,76 a | 4,26 a | 6,43 a | 14,28 a | 1,05 a |
| N150 | 2,60 a | 11,59 a | 2,30 a | 0,47 a | 2,82 a | 2,76 a | 4,27 a | 6,43 a | 14,26 a | 1,06 a |
| N200 | 2,60 a | 11,58 a | 2,30 a | 0,47 a | 2,81 a | 2,76 a | 4,26 a | 6,43 a | 14,26 a | 1,04 a |
| Híbrido DK-1596 | | | | | | | | | | |
| N0 | 2,55 b | 12,20 a | 3,16 a | 0,42 a | 3,11 a | 2,86 a | 4,34 a | 6,27 a | 13,20 a | 1,20 a |
| N100 | 2,75 a | 12,19 a | 3,15 a | 0,42 a | 3,11 a | 2,85 a | 4,34 a | 6,26 a | 13,20 a | 1,22 a |
| N150 | 2,75 a | 12,18 a | 3,15 a | 0,42 a | 3,11 a | 2,86 a | 4,35 a | 6,27 a | 13,21 a | 1,20 a |
| N200 | 2,76 a | 12,19 a | 3,15 a | 0,41 a | 3,12 a | 2,86 a | 4,35 a | 6,26 a | 13,21 a | 1,22 a |
| Híbrido DK-777 | | | | | | | | | | |
| N0 | 3,67 b | 12,47 a | 2,77 a | 0,43 ab | 3,67 a | 2,84 a | 4,26 a | 5,82 a | 13,84 a | 1,23 a |
| N100 | 3,82 a | 12,46 a | 2,77 a | 0,44 a | 3,68 a | 2,85 a | 4,27 a | 5,80 a | 13,86 a | 1,22 a |
| N150 | 3,83 a | 12,46 a | 2,77 a | 0,45 a | 3,68 a | 2,85 a | 4,26 a | 5,84 a | 13,86 a | 1,24 a |
| N200 | 3,82 a | 12,45 a | 2,78 a | 0,45 a | 3,67 a | 2,86 a | 4,26 a | 5,85 a | 13,85 a | 1,23 a |
| Híbrido DK-6004 | | | | | | | | | | |
| N0 | 2,71 b | 13,05 a | 4,08 a | 0,46 a | 3,81 a | 3,17 a | 4,62 a | 5,85 a | 14,43 a | 1,18 a |
| N100 | 2,80 a | 13,05 a | 4,07 a | 0,46 a | 3,82 a | 3,16 a | 4,63 a | 5,84 a | 14,44 a | 1,19 a |
| N150 | 2,83 a | 13,03 a | 4,08 a | 0,45 a | 3,82 a | 3,17 a | 4,62 a | 5,85 a | 14,43 a | 1,17 a |
| N200 | 2,80 a | 13,04 a | 4,09 a | 0,45 a | 3,82 a | 3,16 a | 4,63 a | 5,90 a | 14,42 a | 1,17 a |

Medias con letras distintas en cada columna indican diferencias significativas entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Isoleuc: isoleucina, Triptof: triptófano, Treon: treonina, AcAsp: ácido aspártico, AcGlut: ácido glutámico, Metion: metionina

En las variedades comunes de maíz el contenido de lisina está alrededor de 2,9 % (FAO,

1993; Mendoza et al., 2006; Díaz et al., 2009), lo que indica el efecto positivo de la aplicación de

nitrógeno sobre el contenido de lisina del grano observado en este trabajo. Con respecto al contenido de triptófano, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización, con excepción de los híbridos DK-357 y DK-777 que presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con el testigo sin nitrógeno; esto puede deberse a las características genéticas particulares de estos cultivares. Los valores de triptófano en este estudio estuvieron entre los normales para maíces blancos y amarillos comunes (FAO, 1993; Mendoza et al., 2006), al igual que para el resto de los aminoácidos. No se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos nitrogenados para el contenido de leucina, isoleucina, treonina, tirosina, valina, ácido aspártico, ácido glutámico y metionina.

CONCLUSIONES

Existe un efecto positivo y significativo de la fertilización nitrogenada sobre las variables rendimiento, peso de 1000 granos (12 % de humedad), hileras por mazorca, granos por hilera, diámetro de mazorca y longitud de mazorca.

Los mayores rendimientos se obtuvieron a la dosis intermedia de nitrógeno ($150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). La mayor cantidad de días a floración y a maduración la presentó el DK-7088 en comparación al resto de híbridos. Los mayores porcentajes de proteínas se obtuvieron en los tratamientos fertilizados.

Los híbridos de mayor rendimiento presentaron, en promedio, menores tenores de proteína con respecto al resto. La fertilización nitrogenada influyó positivamente en el contenido de lisina. Los valores de triptófano estuvieron entre los normalmente encontrados en las variedades comunes de maíz.

LITERATURA CITADA

- Acero, M., J. Figueroa, J. Palma y J. Quezada. 2000. Uso del cerdo como modelo biológico para evaluar la calidad de la tortilla por dos procesos de nixtamalización y la fortificación con vitaminas y pasta de soya. Programa Interinstitucional en Ciencias Pecuarias. Universidad de Colima. México. 122 p.
- Aguirrezábal, L. y F. Andrade. 1998. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 315 p.
- Ballesteros, E., E. Morales, O. Mora, E. Santoyo, G. Estrada y F. Gutiérrez. 2015. Manejo de fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento de triticale. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 6(4): 724-733.
- Barbieri, P., H. Sainz, F. Andrade y H. Echeverría. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. Agronomy Journal 92: 283-288.
- Bender, R., J. Haegele, M. Ruffo y F. Below. 2013. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. Agronomy Journal 105(1): 161-170.
- Bianco, H., T. Capote y C. Garmendia. 2014. Determinación de humedad en harina precocida de maíz blanco utilizando un horno de microondas doméstico. Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel (INHRR), 45(2): 50-63.
- Butzen, S. 2015. Monitor corn fields for stalk quality problems. Crops Insights 23(15): 1-3.
- Cervantes, M., F. Copado, M. Cervantes, R. Soto, N. Torrentera y J. Figueroa. 2002. Predicción del contenido de aminoácidos en el trigo con base en su valor de proteína. INCI 27(12): 695-701.
- Cordi, M., S. Uhart, H. Echeverría y H. Sainz. 1997. Efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre la tasa y duración del llenado de granos en maíz. XI Congreso Nacional de Maíz y III Reunión Suramericana de Maiceros. Estación Experimental Agropecuaria. INTA. Balcarce. Argentina.
- Dhuyvetter, K. y A. Schlegel. 1994. Phosphorus reduces grain moisture and improves corn profitability (Kansas). Better Crops with Plant Food 78(2): 10-12.
- Díaz-Coronel, G., F. Sabando, S. Zambrano y 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.
12. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección Alimentación y Nutrición. N° 25. Roma.
 13. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. FAOSTAT, Statistical Databases. Agriculture, Fisheries, Forestry, Nutrition. Rome. <http://faostat.fao.org/default.aspx/> (consulta del 12/11/2007).
 14. Faraldo, M., G. Vergara, G. Casagrande, J. Arnaiz, H. Mirasson y C. Ferrero. 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región oriental de la pampa argentina. *Agronomía Tropical* 61(1): 47-57.
 15. Funaro, O. y H. Paccapelo. 2001. Producción de materia seca total de una población de maíz macollador originado de la cruce de *Zea mays* x *Zea diploperennis* L. *Rev. Fac. Agronomía - UNLPam* 12(1): 55-63.
 16. Lafitte, H. 2001. Fisiología del maíz tropical. *In: Paliwal, Granados, Lafitte y Violic (eds.). El Maíz en los Trópicos. Mejoramiento y Producción. CIMMYT-FAO. Roma. 8 p.*
 17. Lemcoff, J. y R. Loomis. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Sci.* 26: 1017-1022.
 18. Lemcoff, J. y R. Loomis. 1994. Nitrogen and density influence on silk emergence, endosperm development and grain yield in maize (*Zea mays* L.). *Field Crop Research* 38: 63-72.
 19. Marcano, F y C. Ohep. 1996. Respuesta del cultivo de maíz a tres prácticas de labranza, dos fuentes nitrogenadas y tres formas de aplicación del nitrógeno. *Agronomía Tropical* 47(1): 61-85.
 20. Mendoza-Elos, M., N. Moran-Vázquez, E. Andrio-Enríquez, A. López-Benítez, S. A. Rodríguez-Herrera y G. Castañón-Nájera. 2006. Efecto del nitrógeno y la densidad de población en el contenido de lisina en la semilla de maíz en México. *Agronomía Mesoamericana* 18(2): 177-183.
 21. Miguez, F. y L. Windauer. 2004. Efecto de la fertilización nitrogenada y el riego sobre el rendimiento y el tenor de proteína en grano de maíz. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 22. <http://docplayer.es/24993471> (consulta del 21/07/2016).
 22. Monza, J. y A. Márquez (eds.). 2004. El Metabolismo del Nitrógeno en las Plantas. *Almuzara Estudios. Córdoba, España. 180 p.*
 23. Ortiz-Prudencio, S. 2006. Determinación de la composición química proximal y fibra dietaria de 43 variedades criollas de maíz de 7 municipios del sureste del Estado de Hidalgo. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias de la Salud. Área Académica de Nutrición. 60 p.* <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/> (consulta del 20/10/2016).
 24. Osborne, L., S. Scheppers, D. Francis y 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.
 25. Poey, F. 1973. Mejoramiento genético de la calidad nutritiva del maíz. *Simposio sobre Desarrollo y Utilización de Maíces de Alto Valor Nutritivo. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. pp. 69-83.*
 26. Robutti, J.L. 2015. Calidad y usos del maíz. *INTA Pergamino Buenos Aires. pp. 101-104.* <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210719.pdf> (consulta del 24/01/2017).
 27. Rodríguez-Bragado, L., A. Sombrero-Sacristán y M. Cedrán. 2014. Efectos de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. *Revista Tierra Digital* 223: 44-51.
 28. Stamp, P., S. Schowchong, M. Menzi, U. Weingarther y O. Kaiser. 2000. Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop. Sci.* 40: 1586- 1587.
 29. Swank, W. y W. Caskey. 1982. Nitrate depletion in a second-order mountain stream. *Journal of Environmental Quality* 11: 581-584.
 30. Tsai, C., D. Huber y H. Warren. 1980. A proposed role of zein and glutelin as N sinks in maize. *Plant Physiol.* 66: 330-333.
 31. Varela, J. 2007. Situación actual de la obtención de bioetanol a través del maíz como fuente de biocombustible. *Instituto Tecnológico de Sonora. Ciudad Obregón, México. 21 p.*

http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/400_varela_jose.pdf (consulta del 17/11/2016).

32. Zepeda, R., A. Carballo, A. Muñoz, A. Mejía, B. Figueroa, V. González y C. Hernández. 2009.

Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia* 43 (2): 146-152.