

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad de seis híbridos comerciales de maíz en Venezuela

Marta Barrios*, Carmen Basso y Judith Garcia

Instituto de Agronomía. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Apartado postal 4579. Maracay 2101. Aragua, Venezuela

RESUMEN

Para evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de genotipos comerciales de maíz, se realizó un experimento en el Asentamiento Campesino Arenales, Distrito Zamora, estado Aragua, Venezuela. El diseño experimental fue parcelas divididas con tres repeticiones. En las parcelas principales se consideraron seis genotipos con diferentes tipos de endospermo: dos semidentados (DK-370 y 7088), dos semicórneos (DK-357 y 1596) y dos córneos (DK-777 y 6004) y en las parcelas secundarias tres niveles de fertilizante nitrogenado. El fertilizante se aplicó en dos fracciones: a la siembra y 30 d después, utilizándose urea convencional (46% N) en tres dosis de N (0, 100, 150 y 200 kg/ha), además de 35 kg/ha de P_2O_5 y 60 kg/ha de K_2O . Se evaluaron las variables rendimiento (kg/ha), granos/m² (G/m²), peso de 1000 granos (P1000G), peso hectolítrico (PH), dureza (D), índice de flotación (IF) y contenido de proteína cruda (PC). Todos los híbridos aumentaron significativamente el rendimiento y los G/m² con la adición de 150 kg/ha de N, resultando mayor el rendimiento de los híbridos semidentados DK-370 y DK-7088 (9.763 y 11.623 kg/ha, respectivamente), los que también presentaron menor PH y D, y mayor PC. El P1000G no presentó diferencias significativas entre las dosis 150 y 200 kg/ha de N, con excepción de DK-370 y DK-6004. El IF se asoció negativa y significativamente con PC y ésta con el rendimiento y P1000G.

Palabras clave: córneo, endospermo, semicórneo, semidentado, urea.

Effect of nitrogen fertilization on yield and quality of six commercial corn hybrids in Venezuela

ABSTRACT

To evaluate the nitrogen fertilization effect on yield and quality of corn commercial genotypes, an experiment was carried out at the rural settlement Arenales, Aragua state, Venezuela. The experimental design was split plots, with three replications. On principal plots there were considered six genotypes with different endosperm type: two semident (DK-370 and 7088), two semiflint (DK-357 and 1596) and two flint (DK-777 and 6004) and on secondary plots, three levels of nitrogen fertilizer. N fertilizer was applied in two fractions: at planting and 30 d

*Autor de correspondencia: Marta Barrios
E-mail: martabarrios3@gmail.com

after, with regular urea (46% N) and three N rates (0, 100, 150, and 200 kg/ha), plus 35 y 60 kg/ha de P_2O_5 y K_2O , respectively. Variables evaluated were yield (kg/ha), grains/ m^2 (G/m^2), weight of 1000 grains (P1000G), grain weight by hectoliters (PH), grain hardness (D), flotation index (IF) and raw protein (PC). All hybrids increased significantly yield and G/m^2 with 150 kg/ha, being higher the yield of semident hybrids DK-370 y DK-7088 (9,763 y 11,623 kg/ha, respectively) which also presented the lowest PH and D and higher PC. P1000G did not present significantly differences between 150 and 200 kg/ha de N, except for DK-370 and DK-6004. IF associated negative and significantly with raw protein (PC) and the latter with yield and P1000G.

Key words: endosperm, flint, semident, semiflint, urea.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo que ocupa el tercer lugar en área sembrada a nivel mundial y es un rubro agrícola estratégico para la seguridad alimentaria, no solo de Venezuela sino de la humanidad, por su alto contenido energético, y por su importancia como materia prima industrial, en la alimentación humana y animal. La fertilización nitrogenada es uno de los aspectos clave en el manejo del cultivo de maíz porque, entre otros aspectos, el nitrógeno juega un papel fundamental en el crecimiento y rendimiento de la planta y sobre los parámetros de calidad del grano (Salvagiotti *et al.*, 2010). Este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia induce una menor tasa de crecimiento y expansión foliar, que reducen la captación de la radiación fotosintéticamente activa (Salazar-Sosa *et al.*, 2003). La calidad del grano de maíz depende de su constitución física, que determina la textura y dureza, y de su composición química, que define el valor nutricional.

Las evaluaciones de los materiales que actualmente se siembran en Venezuela se han orientado principalmente a sus características agronómicas más que a la calidad del grano, por lo que es necesario considerar tanto componentes del rendimiento como parámetros de calidad. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad del grano de seis genotipos comerciales de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo entre los meses de diciembre 2014 y abril 2015, en el Asentamiento Campesino Arenales, Parcela #18, Distrito Zamora, estado Aragua, Venezuela (10° 6' 17"N y 67° 35' 44"O). Esta área se caracteriza por precipitaciones y

temperaturas anuales promedios de 811 mm y 26°C, respectivamente (Estación Climática Santa Cruz Edafológica, estado Aragua, Venezuela. Registros 1993-2013). Los suelos del asentamiento pertenecen a la serie Tocorón, 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 y materia orgánica 2.5% (Cuadro 1).

Diseño del experimento

Se evaluaron seis genotipos de maíz de Monsanto (Dekalb) con diferentes texturas del endospermo: dos semidentados, dos semicórneos y dos córneos (Cuadro 2). Se utilizó un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones. En las parcelas principales se consideraron los genotipos de maíz y en las parcelas secundarias tres niveles 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 0,20 m. El fertilizante nitrogenado se aplicó en dos fracciones: la primera mitad a la siembra y la segunda mitad treinta días después, en la etapa II de desarrollo de la planta; se usó urea convencional (46% de N) como fuente nitrogenada y se utilizaron tres dosis de N más un testigo sin fertilizante. Las dosis empleadas fueron 0, 100, 150 y 200 kg/ha de N, seleccionadas en base a las utilizadas por los productores de maíz en Venezuela. Se aplicaron además 35 kg/ha de P_2O_5 y 60 kg/ha de K_2O (todo a la siembra). El fertilizante fue aplicado manualmente, colocando una banda de fertilización 5 cm por debajo y al lado de la semilla.

Se realizó control químico con aplicaciones dirigidas de glifosato y escarda manual de malezas. Los insectos plagas fueron controlados con metomilo a una dosis de 300 g/ha; se aplicó una lámina de agua de 5 mm/d de riego suplementario por gravedad (surcos) cada 2 d.

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

| Textura ¹ | Arcilla | Limo | Arena | pH 1:1 en agua | MO ² | P | K | Ca |
|----------------------|---------------|------|-------|----------------|-----------------|-----------------|----|-----|
| | ----- % ----- | | | | % | ----- ppm ----- | | |
| A | 60,0 | 20,0 | 10,0 | 7,86 | 2,5 | 15 | 75 | 461 |
| FA | 56,0 | 30,0 | 17,0 | 7,40 | 2,5 | 14 | 79 | 490 |

¹ A: Arcilloso, FA: Franco arcilloso

² MO: Materia orgánica

Cuadro 2. Híbridos de maíz evaluados en el ensayo.

| Híbrido de maíz | Tipo de grano |
|---|---------------|
| DK-370 (blanco, buena calidad de grano) | Semidentado |
| DK-7088 (amarillo, alta calidad de grano) | |
| DK-357 (blanco, buena calidad de grano) | Semicórneo |
| DK-1596 (amarillo anaranjado; buena calidad de grano) | |
| DK-777 (blanco; alta calidad de grano) | Córneo |
| DK-6004 (amarillo; buena calidad de grano) | |

VARIABLES EVALUADAS

Rendimiento

Se cosecharon manualmente 10 m² en cada unidad experimental; las mazorcas cosechadas se trillaron manualmente y se determinó la humedad del grano en madurez fisiológica con un medidor de humedad (Steinlite modelo SB900. Des Plaines, EUA). El rendimiento fue expresado al 12% de humedad del grano.

Número de granos por metro cuadrado (G/m²)

El número de granos por m² fue calculado como el cociente entre el rendimiento (sobre base seca) y el peso individual del grano. Esta última variable fue determinada promediando dos muestras de 200 granos cada una y secadas en una estufa de aire forzado (ICSA modelo DHG-9123A. Buenos Aires, Argentina), durante 10 d.

Peso de 1000 granos (P1000G)

Se pesaron 100 granos obtenidos al azar de cada accesión, en una balanza (Ohaus modelo Explorer 410. Madrid, España) con sensibilidad de 0,001 g y el resultado (g) se multiplicó por 10.

Peso hectolítrico (PH)

La determinación del peso hectolítrico se realizó con una balanza de peso hectolítrico (Terko. Montevideo, Uruguay) y se reportó en kg/hL.

Prueba de dureza (D)

Se determinó por quintuplicado en una muestra de 10 granos, mediante una prueba de resistencia a la penetración medida con un analizador de textura (TAXT2. Ciudad de México, Mexico) provisto con un punzón cónico (ángulo 30°), a una velocidad de 0,5 mm/s y una distancia de penetración de 2 mm. La dureza del grano se reportó en kg-f.

Índice de flotación (IF)

Se obtuvo colocando 100 granos sanos en un Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 170 mL de una mezcla kerosene-tetracloruro de carbono (d=1,305 a 25°C). Luego de una agitación breve con varilla de vidrio, se contaron los granos que flotaron. El índice de flotación se calculó como el porcentaje de granos que flotaron (Robutti *et al.*, 2002).

Proteína cruda (PC) (%)

Se determinó a través del método de Kjeldahl (AACC, 1975).

Análisis estadístico

Se utilizó el paquete estadístico SAS (2001) y se realizó análisis de varianza. Las medias de los tratamientos se compararon a través del test de comparaciones múltiples de medias ajustadas de Tukey

($P \leq 0,05$). También se determinaron las correlaciones entre las variables medidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 3 y 4 se observa el efecto de los tratamientos de fertilización nitrogenada sobre parámetros de rendimiento y de calidad del grano para cada uno de los híbridos evaluados. La interacción híbrido x fertilización fue altamente significativa para todas las variables del estudio ($P \leq 0,001$).

Los mayores rendimientos en todos los híbridos evaluados se lograron a la dosis de 150 kg/ha de N, con valores entre 6.000 y 11.623 kg/ha, alcanzándose los rendimientos más bajos en el tratamiento sin aplicación de nitrógeno. El DK-7088 (semidentado) presentó el rendimiento más alto (11.623 kg/ha), con un aumento de 54,5% con respecto al tratamiento sin N, seguido por el DK-370 (semidentado) con 9.763 kg/ha y un incremento del 28,4% respecto al testigo (Cuadro 3). Esto indica que la aplicación de dosis superiores de N no se reflejó en el aumento proporcional del rendimiento para ninguno de los genotipos evaluados en este ensayo. Aún cuando estos materiales son de alto potencial de rendimiento, a la dosis 200 kg/ha de N no se obtuvieron valores mayores, indicativo de una utilización eficiente del N por el cultivo a una dosis menor. Resultados similares fueron obtenidos por Barrios *et al.* (2012) y

Andrade *et al.* (1986) quienes reportaron además que el N en exceso comienza a acumularse en los tejidos de las hojas, saturando la capacidad de absorción de N que tiene el cultivo, lo que puede resultar en un pobre sistema radicular, tejido blando, plantas débiles, retraso en la producción y menores rendimientos (Monza y Márquez, 2004).

Con respecto al número de granos por metro cuadrado (Cuadro 3), los mayores valores se obtuvieron a la dosis de 150 kg/ha de N, con excepción del DK-6004 que no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las dosis 150 y 200 kg/ha de N y el DK-7088 que alcanzó mayor número de granos/m² a la dosis 200 kg/ha de N. El genotipo DK-370 presentó el mayor número de granos (4.603 granos/m²), con diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con respecto a las otras dosis de N. Ferrari (2000) encontró que la aplicación de 50 kg/ha de N en un suelo con contenidos de materia orgánica adecuados (3-3,5%) y buena capacidad de retención de agua, incrementó el número de granos por m², al favorecer el tamaño y el número de granos por mazorca, componentes importantes en la determinación del nivel de rendimiento en maíz. El suelo de este ensayo, aunque con contenidos de materia orgánica más bajos (2,5%), no presentó limitaciones hídricas ya que se aplicó riego suplementario, obteniéndose en este caso la mejor respuesta en rendimiento a una dosis de 150 kg/ha.

Cuadro 3. Efecto de la dosis de nitrógeno sobre el rendimiento, granos por m² y peso de 1000 granos de seis híbridos de maíz con diferentes texturas de endospermo.

| Dosis de N | Rendimiento (kg/ha) | | | | | |
|------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | DK-370 | DK-7088 | DK-357 | DK-1596 | DK-777 | DK-6004 |
| 0 | 7.607d ¹ | 7.523d | 6.000d | 6.012d | 6.540d | 6.437d |
| 100 | 9.342c | 9.992c | 7.103c | 7.280c | 8.519c | 8.317c |
| 150 | 9.763a | 11.623a | 8.807a | 8.602a | 9.160a | 9.173a |
| 200 | 9.404b | 10.846b | 8.220b | 8.214b | 9.007b | 9.007b |
| Dosis de N | Granos por m ² (G/m ²) | | | | | |
| | DK-370 | DK-7088 | DK-357 | DK-1596 | DK-777 | DK-6004 |
| 0 | 4.252c | 3.190d | 3.106d | 2.862c | 3.211d | 3.187c |
| 100 | 4.493b | 4.006c | 3.320c | 3.425b | 3.336c | 3.780b |
| 150 | 4.603a | 4.333b | 3.677a | 3.637a | 3.686a | 4.237a |
| 200 | 4.435b | 4.435a | 3.507b | 3.503b | 3.549b | 4.143a |
| Dosis de N | Peso de 1000 granos (mg/grano) | | | | | |
| | DK-370 | DK-7088 | DK-357 | DK-1596 | DK-777 | DK-6004 |
| 0 | 233,33c | 238,67c | 230,00b | 201,33c | 232,67b | 222,67c |
| 100 | 246,30ab | 255,00b | 248,10a | 240,00b | 237,67b | 240,00b |
| 150 | 251,85a | 278,00a | 253,67a | 251,67a | 249,00a | 246,33a |
| 200 | 248,56b | 280,33a | 254,00a | 251,33a | 252,33a | 237,67b |

¹ Letras distintas dentro de una columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

Cuadro 4. Efecto de la dosis de nitrógeno sobre peso hectolítrico, dureza, índice de flotación y proteína cruda de seis híbridos de maíz con diferentes tipos de endospermo.

| Dosis de N | Peso hectolítrico (kg/hL) | | | | | |
|------------|---------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | DK-370 | DK-7088 | DK-357 | DK-1596 | DK-777 | DK-6004 |
| 0 | 73,41d ¹ | 78,13b | 74,43c | 77,93b | 79,00c | 79,54c |
| 100 | 76,20c | 79,73a | 78,46b | 78,23b | 81,47b | 80,06b |
| 150 | 80,03a | 78,59b | 80,33a | 81,60a | 82,15a | 82,70a |
| 200 | 79,06b | 79,74a | 80,81a | 80,76a | 81,93b | 82,50a |
| Dosis de N | Test de dureza (kg-f) | | | | | |
| | DK-370 | DK-7088 | DK-357 | DK-1596 | DK-777 | DK-6004 |
| 0 | 17c | 18c | 80c | 78c | 85c | 83b |
| 100 | 22b | 22b | 87b | 82b | 97b | 96a |
| 150 | 29a | 32a | 92a | 92a | 98ab | 96a |
| 200 | 29a | 32a | 92a | 92a | 99a | 95a |
| Dosis de N | Índice de flotación (%) | | | | | |
| | DK-370 | DK-7088 | DK-357 | DK-1596 | DK-777 | DK-6004 |
| 0 | 13,1a | 12,03a | 6,73a | 7,43b | 7,94a | 6,59c |
| 100 | 11,2c | 10,68b | 4,91b | 6,26c | 3,12c | 6,09d |
| 150 | 11,8c | 10,26b | 3,38c | 7,65b | 4,19b | 8,16a |
| 200 | 12,4b | 11,53a | 3,39c | 8,07a | 3,11c | 7,85b |
| Dosis de N | Proteína cruda (%) | | | | | |
| | DK-370 | DK-7088 | DK-357 | DK-1596 | DK-777 | DK-6004 |
| 0 | 8,81b | 8,26d | 7,92c | 7,88c | 7,63d | 8,00d |
| 100 | 10,26ab | 9,03c | 9,25b | 9,23b | 8,06c | 9,00c |
| 150 | 10,58a | 11,04a | 9,91a | 9,83a | 9,86a | 9,37b |
| 200 | 10,36a | 9,53b | 9,80a | 9,18b | 9,25b | 9,69a |

¹ Letras distintas dentro de una columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

El peso de 1000 granos (Cuadro 3) es un indicador importante del tamaño y la densidad del grano, especialmente para la producción de harina, ya que los granos más grandes tienen mayor cantidad de endospermo y mayor rendimiento en harina que los granos pequeños (Mauricio *et al.*, 2004). En este ensayo, el peso de 1000 granos fue favorecido por el aumento de la dosis de N, de 100 a 150 kg/ha, con excepción de los híbridos DK-357 y DK-370 que no presentaron diferencias significativas entre ambas dosis ($P \leq 0,05$), aunque se puede apreciar en el Cuadro 3 una clara tendencia a aumentar a la dosis de 150 kg/ha de N. Estos resultados pudieran relacionarse con el peso del grano y el crecimiento de la planta durante el llenado, característicos de la relación fuente-sumidero del cultivo de maíz (Hassan, 2011; Cirilo y Andrade, 1996).

En relación al PH (Cuadro 4), en este estudio los maíces córneos y semicórneos obtuvieron en general, valores más elevados que los maíces semidentados utilizados, lo cual se explica debido a que los granos de textura córnea son más pesados y densos que los de

textura blanda. El peso hectolítrico es un parámetro de calidad que se incrementa con la fertilización nitrogenada (Papucci, 2008; Calderone *et al.*, 2008), aun cuando en este caso los híbridos DK-357 y 1596 no mostraron diferencias significativas al aumentar la dosis a 200 kg/ha de N. Es posible que la acumulación del nitrato no utilizado inmediatamente por la planta en los tejidos de las hojas, limitó la absorción de este nutriente, lo cual además afectó la fijación y llenado de los granos (Barrios *et al.*, 2012; Andrade *et al.*, 1986). Resultados similares fueron obtenidos por Calderone *et al.* (2008) cuando evaluaron la influencia de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad de dos híbridos de maíz, uno de textura blanda y otro de textura vítrea.

La dureza de los granos en este ensayo fue de 18 a 98 kg-f, siendo los genotipos semidentados, de endospermo más blando, los que presentaron los valores más bajos. Los resultados obtenidos muestran que la fertilización nitrogenada favorece la dureza del grano en todos los híbridos evaluados, en comparación con el testigo sin nitrógeno, no encontrándose diferencias

significativas entre las dosis 150 y 200 kg/ha de N. El N aumenta la relación endospermo vítreo-endospermo amiláceo, generando una mayor dureza del grano (Papucci, 2008), la cual es determinada por la unión entre el almidón y las proteínas del endospermo. Los granos más suaves tienen mayor capacidad de absorción de agua y un rendimiento en masa más elevado (González *et al.*, 2005; Mauricio *et al.*, 2004). Por el contrario, una mayor relación endospermo vítreo-endospermo amiláceo induce a una mayor dureza del grano, generando también una mayor resistencia al quebrado (Cruciani *et al.*, 2013) y una menor respuesta a los cambios en la densidad del grano y por consiguiente, en la dureza del endospermo, tal como se observa para los híbridos duros DK-777 y 6004. Tsai *et al.* (1983) reportaron resultados similares en maíz.

El índice de flotación, uno de los indicadores de dureza determinante en el rendimiento de la molienda seca, fue también afectado significativamente ($P \leq 0,05$) por los diferentes niveles de fertilización nitrogenada, resultando los genotipos semidentados con valores mayores de IF que los semicórneos y córneos (Cuadro 4). Es evidente que la fertilización nitrogenada originó una mayor respuesta en el IF en los híbridos de textura blanda, gracias al aumento de la densidad del grano. Resultados similares fueron obtenidos por Longa (2009) y Mendoza-Elos *et al.*, (2009). Cruciani *et al.* (2013) y Zepeda (2009) atribuyeron esta respuesta a los cambios en la matriz amiloproteica del endosperma por el aumento de las proteínas y la disminución del endosperma harinoso. Se puede apreciar en el Cuadro 4 que hubo una disminución de los valores de IF en los tratamientos nitrogenados en comparación al testigo sin N, lo cual se relaciona con un aumento de la calidad en términos de una mayor resistencia del grano, especialmente para los híbridos semidentados. Por otra parte, el N incrementa la acumulación de zeína y glutelina, las cuales aparentemente tienen influencia sobre la textura del grano (Paredes *et al.*, 2009). Sin embargo, no todos los materiales genéticos responden igual, ni con la misma magnitud, ni siquiera en el mismo sentido, a la fertilización con N (Longa, 2009), lo que pudiera haber incidido en el comportamiento del híbrido DK-6004 que, a la dosis de 150 kg/ha, experimentó un aumento significativo de su IF con respecto al testigo.

En cuanto a las variaciones en el porcentaje de proteínas (Cuadro 4) se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos de fertilización. En este ensayo las concentraciones de

proteína cruda fluctuaron entre 7,63 y 11,04%, las cuales coinciden con valores de proteína cruda estimados para híbridos de maíz en diferentes zonas (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005; Paredes-López *et al.*, 2000; Watson, 1978). DK-7088 presentó el mayor porcentaje de PC a la dosis de 150 kg/ha de N (11,04%), en comparación a los genotipos semi córneos y córneos, como se muestra en el Cuadro 4. En general, los híbridos semidentados respondieron mejor a la aplicación de N con respecto al aumento de la PC; la dosis de 150 kg/ha de N favoreció un aumento significativo ($P \leq 0,05$) de proteína en DK-7088, DK-1596 y DK-777, mientras que DK-370 y DK-357 no presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre 150 y 200 kg/ha de N, y DK-6004 obtuvo mayor cantidad de PC a la dosis 200. Para todos los híbridos se obtuvo una tendencia a incrementar el contenido de PC con la aplicación de N (Cuadro 4). Tsai *et al.* (1983, 1980, 1978) demostraron que la fertilización nitrogenada del maíz aumentaba el total de proteínas, gracias al incremento del contenido de prolamina. Cruciani *et al.* (2013) encontraron mayor contenido de proteína en un híbrido de textura blanda y concluyeron que cuando el nivel de nitrógeno es adecuado, maíces semidentados adaptados a ambientes sin limitaciones, pueden alcanzar buenos tenores de proteína. Sin embargo, los resultados sobre el contenido de proteína pueden variar, ya que en el maíz estos dependen de las características genéticas del cultivar y de factores de manejo del cultivo, como la estrategia de fertilización nitrogenada y la suplencia adecuada de humedad (Longa, 2009; Vivek *et al.*, 2008; Ji *et al.*, 2003).

El grado de asociación entre las variables evaluadas bajo las condiciones de este ensayo se observa en el Cuadro 5. Para todos los híbridos, el aumento en dureza (D) del grano se asoció negativamente con el IF y el rendimiento y positivamente con el PH. En estos casos la asociación fue altamente significativa. El IF tuvo correlación negativa y altamente significativa con la PC y el rendimiento. En este estudio, los híbridos evaluados experimentaron una disminución de los valores del IF en respuesta a la fertilización nitrogenada, con excepción del DK-6004 a la dosis 150 kg/ha de N; esto se relacionaría con los cambios en la proporción de endospermo harinoso al aumentar el contenido de proteínas (Zepeda *et al.*, 2009; Oikeh *et al.*, 1998). El número de G/m² se asoció positivamente con el rendimiento al igual que el P1000 G. El número de G/m² es uno de los componentes que mejor explica

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros dureza (D), índice de flotación (IF), granos por metro cuadrado (G/m²), peso de 1000 granos (P1000G), peso hectolítrico (PH), proteína cruda (PC) y rendimiento, en seis híbridos de maíz de diferentes tipos de endospermo.

| Variable | D | IF | G/m ² | P1000G | PH | PC |
|------------------|----------|----------|------------------|---------|-------|---------|
| IF | -0,870** | | | | | |
| G/m ² | 0,214 | -0,012 | | | | |
| P1000G | -0,283 | -0,283 | 0,417 | | | |
| PH | 0,733** | -0,369 | 0,425 | 0,257 | | |
| PC | -0,297 | -0,698** | 0,296 | 0,710** | 0,250 | |
| Rendimiento | -0,775** | -0,775** | 0,573* | 0,840** | 0,378 | 0,788** |

** Significativo a P<0,001,

el rendimiento en maíz, especialmente en ambientes con adecuada suplencia de nitrógeno y humedad, que pudiera proveerle al cultivo mejores condiciones de crecimiento durante el llenado del grano (Barrios *et al.*, 2012; Salvagiotti *et al.*, 2012). La PC se asoció positivamente con el rendimiento y el peso de 1000G, la correlación entre ambas variables fue altamente significativa. Los híbridos de endospermo semidentado alcanzaron un mayor contenido de proteína, lo cual indicaría una mejor capacidad de estos materiales de mejorar su nivel proteico en respuesta a la dosis adecuada de nitrógeno, que en este caso fue 150 kg/ha de N (Cuadro 4). Cruciani *et al.* (2013) obtuvieron resultados similares cuando evaluaron el efecto de la fertilización nitro-azufrada sobre el rendimiento y la calidad de dos maíces, uno de textura vítrea y otro de textura blanda.

CONCLUSIONES

Para todos los híbridos evaluados, el rendimiento tuvo una respuesta positiva y significativa a la dosis intermedia de N aplicada en este experimento (150 kg/ha de N). La dosis de 200 kg/ha no produjo mayores rendimientos para ninguno de los híbridos evaluados. Los híbridos de textura blanda (semidentados) presentaron una mejor respuesta en el peso de 1000 granos que los genotipos de textura más dura (semicórneos y córneos), evidenciándose además una disminución del IF en los primeros, indicativo de un aumento de la resistencia física del grano, favorecida por la fertilización nitrogenada a la dosis de 150 kg/ha de N. La dureza del endospermo se relacionó negativa y significativamente con el IF, ya que los maíces duros son más pesados que los maíces semidentados y semi córneos. El PH aumentó con la fertilización nitrogenada en todos los híbridos, lo cual indica una mejor calidad del grano en términos de

densidad. La proteína cruda se asoció positivamente con el P1000 granos y el rendimiento, mientras que el porcentaje de proteína cruda y el rendimiento presentaron una correlación altamente significativa con la disminución del IF.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AACC. 1975. 84-10 Test. Weight per Bushel. American Association Cereal Chemists. St. Paul, EUA.
- Andrade, F.; D. Canova; E. Fonseca. 1986. Inhibición de la nitrificación con Nytrapirin. Su efecto sobre el rendimiento y contenido proteico del maíz. *Cien. Suelo* 4(1): 49-54.
- 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 (*Zea mays* L.). *Rev. Fac. Agron. LUZ* 29(2): 202-227.
- Calderone, M.; J. Torres; S. Papucci; M. Cruciani; A. González. 2008. Influencia del sistema de labranza y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Agro Mensajes. Fac. Ciencias Agrarias Universidad de Rosario, Argentina*. Disponible en <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/24/9AM24.htm> Consultado: 22/06/2015.
- Cirilo, A.; F. Andrade. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Sci.* 36: 325-331.
- 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.

- Ferrari, M. 2000. Suplemento Maíz. Rev. Agromercado 6(24): 15-39.
- González, R.J.; R. Torres; D. De Greef; A. Bonaldo; J. Robutti; F. Borrás. 2005. Efecto de la dureza del endospermo de maíz sobre las propiedades de hidratación y cocción. Arch. Latin. Nut. 55(4): 354-360.
- Hassan Amin, M.E. 2011. Effect of different nitrogen sources on growth, yield and quality of fodder maize (*Zea mays* L.). J. Saudi Soc. Agric. Sci. 10: 17-23.
- Ji, Y.; K. Seetharaman; K. Wong; L. M. Pollak; S. Duvick; J. Jane; P. J. White. 2003. Thermal and structural properties of unusual starches from developmental corn lines. Carboh. Poly. 51: 439-450.
- Longa M, S.C. 2009. Efecto de dos dosis y dos fuentes de nitrógeno sobre el contenido y la calidad de proteína en un híbrido de maíz blanco (*Zea mays* L.). Trabajo de Grado. Fac. Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 80p.
- Mauricio, S.R.A.; J.D. Figueroa; C.S. Taba; M.L. Reyes; F. Rincón; A. Mendoza. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. Rev. Fitotec. Mex. 27: 213-222.
- Méndez Montealvo, G.; J. Solorza Feria; M. Velázquez del Valle; N. Gómez Montiel; O. Paredes López; L.A. Bello Pérez. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. Agrociencia 39(3): 267-274.
- Mendoza-Elos, M.; N. Moran-Vázquez; E. Andrio-Enríquez; A. López-Benítez; S.A. Rodríguez-Herrera; G. Castañón-Nájera. 2009. Efecto del nitrógeno y la densidad de población en el contenido de lisina en la semilla de maíz en México. Agron. Mesoam. 18(2): 177-183.
- Monza, J.; A. Márquez (Eds.) 2004. El Metabolismo del Nitrógeno en las Plantas. Almuzara Estudios. Córdoba. España. 180 p.
- Oikeh, S.O.; J.G. Kling; A.E. Okoruwa. 1998. Nitrogen fertilizer management effects on maize kernel quality in the West African moist Savanna. Crop Sci. 38: 1056-1061.
- Papucci, S. 2008. Efecto del manejo sobre la calidad comercial e industrial en maíz (*Zea mays* L.). Trabajo Especialización en Manejo Poscosecha de Granos. Fac. Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina. 74p.
- Paredes, O.; F. Guevara; L. Bello. 2009. La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. Ciencias 92: 60-70.
- Paredes-López, O.; H. Guzmán Maldonado; S. Serna Saldívar. 2000. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas de México. El caso de la tortilla. Colegio de Sinaloa. Sinaloa, México. 18p.
- Robutti, J.L.; F.S. González; R.L. Torres; D.M. De Greef. 2002. DM Endosperm properties and extrusion cooking behavior of maize cultivars. Food Sci. Tech. 35: 663-669.
- Salazar-Sosa, A.; A. Beltrán-Morales; M. Fortis-Hernández; J. Leos-Rodríguez; J. Cueto-Wong; C. Vásquez-Vásquez. 2003. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. Terra 21: 561-567.
- Salvagiotti, F.; J. Castellarín; F. Ferragutti; D. Dignani; H. Pedrol. 2010. Umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz y dosis óptimas económicas según potencial de producción. Rev. Para Mejorar la Producción INTA Oliveros 44: 41-44.
- Salvagiotti, F.; F. Ferragutti; A. Manllas. 2012. Respuesta a la fertilización y eficiencia en el uso del nitrógeno en maíz de siembra tardía sobre diferentes antecesores utilizando inhibidores de ureasa. Inform. Agron. Hisp. 8: 2-5.
- SAS. 2001. User's guide statistics. Ver. 8. SAS Institute Inc. Cary, EUA.
- Tsai, S.Y.; D.R. Roop; M.J. Tsai; J.P. Stein; A.R. Means; B.W. O'Malley. 1978. Effect of estrogen on gene expression in the chick oviduct. Biochemistry 17: 5773-5780.
- Tsai, S.Y.; D.R. Roop; W.E. Stumph; M.J. Tsai; B.W. O'Malley. 1980. Evidence that DNA sequences flanking the ovalbumin gene are not transcribed. Biochemistry 19: 1755-1761.

- Tsai, C.Y.; H.L. Warren; D.M. Huber; R.A. Bressan. 1983. Interactions between the kernel N sink, grain yield and protein nutritional quality of maize. *J. Sci. Food Agric.* 34(3): 255-263.
- Vivek, B.S.; A.F. Krivanek; N. Palacios-Rojas; S. Twumasi-Afriyie; A.O. Diallo. 2008. Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. Centro Int. Mejoramiento de Maíz y Trigo. Ciudad de México, México.
- Watson, S.A. 1978. Structure and composition. *In* Watson, S.A.; P.E. Ramstad (Eds) *Corn: Chemistry and Technology*. Am. Assoc. Cereal Chem. St Paul, EUA. pp. 53-82.
- Zepeda, R.; A. Carballo; A. Muñoz; A. Mejía; B. Figueroa; V. González V; C. Hernández. 2009. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. *Agrociencia* 43(2): 143-152.