

Fotosíntesis y Calidad Fisiológica de Genotipos de Maíz Criollo Mejorado

Graciela Ávila Uribe¹, Norma Angélica Ruiz Torres^{1*}, Froylán Rincón Sánchez¹ y Adalberto Benavides Mendoza²

¹Departamento de Fitomejoramiento, ³Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, Colonia Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México. Tel: (01844) 4110236. E-mail:: nruiz@uaaan.mx. (*Autor responsable).

Abstract

In Mexico, the melioration of native corns has benefited of hybridization, selection and recombination as methods for breeding. However, a good option for the melioration of native corns is taking advantage of heterosis for performance. In this assay the photosynthetic performance, and the physiological quality of seven native meliorated corn genotypes, obtained under different strategies of selection, and genetic improvement, were evaluated. The work took effect under greenhouse conditions in Saltillo, Coah., Mexico. The evaluated variables were: CO₂ assimilation rate, stomatal conductance, intercellular CO₂, transpiration and intercellular CO₂ relation, environmental CO₂; plumule and radicle length, emergency speed rate as a vigor proof, percent of emergency as an essay of viability, and fresh and dry weight. Statistical differences for the CO₂ assimilation rate, and for perspiration, were found, but it was not so for the rest of the variables. The native materials showed a capacity in the mesophyll to fix CO₂ higher than the meliorated ones. The native populations had a higher length of plumule and radical, as well as a content of dry matter higher than the meliorated ones, due to the fact that the improved genotypes are adapted to better breeding conditions, as are irrigations, and application of all agricultural inputs, while the native ones resist adverse environments as is persistent rain during several days, in addition to its efficiency in the production of dry matter, and in the fixing of CO₂.

Key Words: CO₂ Assimilation, emergency rate speed.

Resumen

En el mejoramiento de maíces criollos en México se ha utilizado la hibridación, selección y recombinación como métodos de mejoramiento genético. Sin embargo, una buena opción para el mejoramiento de maíces criollos es el aprovechamiento de la heterosis para rendimiento. En este estudio se evaluó el desempeño fotosintético y la calidad fisiológica de siete genotipos de maíz criollo mejorado, obtenidos bajo diferentes estrategias de selección y mejoramiento genético. El trabajo se llevó a cabo en un invernadero en Saltillo, Coah., México. Las variables evaluadas fueron: tasa de asimilación de CO₂, conductancia estomática, CO₂ intercelular, transpiración y relación CO₂ intercelular y CO₂ ambiental; longitud de plúmula y radícula, el índice de velocidad de emergencia como prueba de vigor, por ciento de emergencia como ensayo de viabilidad, además del peso fresco y seco. Se encontraron diferencias estadísticas para la tasa de asimilación de CO₂ y para la transpiración, no siendo así para el resto de las variables. Los materiales criollos presentaron mayor capacidad en el mesófilo para fijar CO₂ que los mejorados. Las poblaciones criollas tuvieron mayor longitud de plúmula y de raíz así como mayor contenido de materia seca que los mejorados, debido a que los genotipos mejorados están adaptados a condiciones benéficas, como riegos y aplicación de todos los insumos, mientras que los criollos resisten ambientes adversos como el temporal, además de ser eficientes en la producción de materia seca y en la fijación de CO₂.

Palabras clave: Asimilación de CO₂, índice de velocidad de emergencia.

Introducción

El mejoramiento genético del maíz ha sido una de las líneas de investigación agrícola de mayor consistencia y dinamismo en México (Guillén *et al.*, 2000); en el mejoramiento de maíces criollos se han utilizado métodos de mejoramiento genético como la hibridación, selección y la recombinación (Smith *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2002).

Sin embargo, el maíz criollo que se cultiva en México presenta bajo potencial productivo debido a las condiciones de secano en que es sembrado. A este respecto, Tallury y Godman (1999), indican que una buena opción para el mejoramiento de maíces criollos es el aprovechamiento de la heterosis para rendimiento, que se encuentra por lo general en materiales de distinto origen.

Por su parte, Otegui *et al.* (1995), mencionan que el rendimiento de los cultivos, está en función de la acumulación neta de CO_2 durante el ciclo de crecimiento. Según Mooney *et al.* (1991), en la producción de altos rendimientos en cualquier cultivo, no solamente el genotipo, afecta al proceso fotosintético de la misma, también los factores ambientales (luz, humedad, CO_2 , entre otros) influyen en dicho proceso. En un estudio realizado por Singh y Singh (1995) en sorgo, maíz y mijo perlado, se encontró que el rendimiento de materia seca tiene una relación positiva lineal con la fotosíntesis, además de ser el mejor parámetro para asegurar la producción de materia seca en las tres especies evaluadas.

Una opción que permite maximizar también el rendimiento y calidad de la producción en los cultivos es el conocimiento del vigor, como componente de la calidad fisiológica de la semilla (Hampton y Coolbear, 1990). La calidad fisiológica de la semilla se puede evaluar mediante variables como son: la velocidad de emergencia, los porcentajes de viabilidad y la germinación (Hernández *et al.*, 2000). Sin embargo, dicha calidad se puede ver alterada por la constitución genética de las plantas (Estrada *et al.*, 1999).

Debido al efecto del genotipo en la fotosíntesis de la planta y en la calidad fisiológica de sus semillas, los objetivos de esta investigación fueron evaluar el desempeño fotosintético y la calidad fisiológica de siete genotipos de maíz criollo mejorado, como efecto de diferentes estrategias de selección y mejoramiento genético.

Materiales y Métodos

Localización y material genético

El experimento se estableció en mayo de 2005, en un invernadero a 25 °C de temperatura y 75 % de humedad relativa, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Saltillo, Coah., México. El material genético estuvo conformado por 10 genotipos de maíz criollo, de los cuales 3 fueron variantes de un material criollo adaptado a Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah., México (Jagüey); dos de ellas obtenidas por métodos de producción de semilla (ProdSG1 y ProdSG2, primer y segundo ciclo de producción, respectivamente) y una por selección de familias de hermanos completos (JagFHC) y el material criollo; dos genotipos resultado de combinaciones entre una población mejorada experimental (PobMej) y el criollo, seleccionados para madurez precoz (CMSelPre) y tardía (CMSelTar), y tres testigos constituidos por dos variedades mejoradas (T2Cafime y T3Van-210) y uno compuesto (T1CPrecoz). Los genotipos se clasificaron en tres grupos: Grupo 1: Jagüey, JagFHC,

ProdSG1 y ProdSG2; grupo 2: PobMej, CMSelPre y CMSelTar y grupo 3: T1CPrecoz, T2Cafime y T3Van210.

Manejo del cultivo

Se utilizó como sustrato una mezcla de Pro-mix PGX Premier con vermiculita en una proporción de 1: 3, se sembraron dos semillas por maceta y 5 repeticiones por material. Se realizaron aplicaciones de fertilizante foliar (20-20-20) en una dosis de 49 g en 5 L de agua, aplicando 10 ml de la solución por maceta, una vez por semana a partir de la segunda semana de la siembra.

Medición de fotosíntesis

Se realizó en la quinta hoja de las plantas con el analizador portátil marca LICOR-6400, previamente calibrado, con el tubo de la soda en posición *full scrub* y el tubo del desecante en *full bypass* y con el flujo de luz calibrado a 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; las lecturas se tomaron cuando el valor permaneció constante en la pantalla por un lapso de 5 s.

Las variables medidas fueron: tasa de asimilación de CO_2 (A), expresado en $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$; conductancia estomática (g_s), expresada en $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$; CO_2 intercelular (ci) en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$; transpiración (Tr) expresada en $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y relación entre el CO_2 intercelular y CO_2 en el ambiente (ci/ca).

Determinación de calidad fisiológica

Establecimiento del cultivo

El estudio se realizó en un invernadero en las mismas condiciones de temperatura y humedad que el anterior, con aplicaciones de riego cada tercer día en forma manual. La siembra se realizó en una cama de concreto forrada con plástico de 0.85 m de ancho por 3.20 m de largo y como sustrato se empleó Pro-mix PGX Premier. Se sembraron cuatro repeticiones de 15 semillas por cada material a una profundidad uniforme de 3 cm y distancia de planta a planta de 5 cm, con humedad a capacidad de campo.

Índice de velocidad de emergencia

Se realizaron conteos diarios del número de plántulas emergidas, para mayor precisión de la prueba, los conteos se realizaron a la misma hora. El índice de velocidad de emergencia es una prueba de vigor, y fue determinada por el conteo de las plántulas emergidas, empleándose la siguiente fórmula:

$$\text{I.V.E.} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{No. de plántulas al conteo } i\text{-ésimo}}{\text{No. de días desde siembra a conteo } i\text{-ésimo}}$$

Porcentaje de emergencia

La determinación del porcentaje de emergencia (ensayo de viabilidad) se realizó tomando en cuenta el número de plantas totales emergidas en el último conteo, empleándose la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{\text{No. de plántulas al conteo } i\text{-ésimo}}{\text{No. de días desde siembra a conteo } i\text{-ésimo}}$$

Una vez determinada esta variable se sacaron, con sumo cuidado, 3 repeticiones de 5 plántulas con su raíz completa, de cada material, se midió la longitud de plúmula y radícula (LP y LR, respectivamente) a cada plántula, individualmente y, posteriormente, se determinó el peso fresco de las 5 plántulas por repetición. Para secar las muestras se utilizó una estufa a una temperatura de 75 °C durante 24 h y, finalmente, las plántulas se pesaron en una balanza analítica previamente calibrada.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Se realizaron los análisis de varianza respectivos y para las fuentes de variación que resultaron significativas, se efectuó la correspondiente comparación de medias de Tukey (Tukey ($\alpha \leq 0.01$)).

Los datos de todas las variables evaluadas se procesaron con el paquete de computación Statistical Analysis System (SAS, 1999).

Resultados y Discusión**Fotosíntesis**

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre genotipos para la variable A y Tr. (Cuadro 1), lo que indica que los genotipos evaluados difieren en la capacidad del mesófilo para fijar CO₂ sin ser afectados en gran medida por limitaciones estomáticas.

En el Cuadro 2 se muestra que los materiales criollos Jagüey y ProdSG1 presentaron mayor capacidad

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para la medición de fotosíntesis de siete genotipos de maíz criollo mejorado, como efecto de diferentes estrategias de selección y mejoramiento genético.

FV	GL	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	Tr ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	ci/ca
Gen	9	6.76**	0.004ns	1062.90ns	212*	0.0074ns
Error	37	154	0.002	624.28	0.94	0.0044
C.V. (%)		8.76	24.18	10.73	15.44	10.86

**, * = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05 respectivamente. ns = no significativo. FV = Fuentes de Variación; GL = Grados de libertad; A = Tasa de asimilación de CO₂; g_s = Conductancia estomática; ci = CO₂ intercelular; Tr = Transpiración; ci/ca = relación entre el CO₂ intercelular y asimilación de CO₂. Gen = Genotipo.

Cuadro 2. Comparación de medias del desempeño fotosintético de siete genotipos de maíz criollo mejorado, como efecto de diferentes estrategias de selección y mejoramiento genético.

Gen	Gpo	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	Tr ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	ci/ca
Jagüey	1	16.15 a [†]	0.19 ab	219.00	6.43 ab	0.58
ProdSG1	1	16.08 a	0.22 ab	231.75	7.21 ab	0.61
T3 Van210	3	15.40 ab	0.21 ab	229.25	6.61 ab	0.61
T2Cafime	3	14.12 abc	0.26 a	265.40	7.47 a	0.70
CMSelTar	2	14.10 abc	0.17 ab	220.40	5.70 ab	0.58
PobMej	2	14.10 abc	0.20 ab	239.40	6.17 ab	0.63
CMSelPre	2	13.94 abc	0.18 ab	226.40	6.20 ab	0.60
T1CPrecoz	3	13.68 abc	0.19 ab	241.8	6.12 ab	0.64
JagFHC	1	13.04 bc	0.18 ab	236.60	5.94 ab	0.62
ProdSG2	1	12.34 c	0.15 b	214.00	5.23 b	0.56
Media		14.19	0.19	232.77	6.28	0.61
Tukey		2.74	0.10	55.10	2.14	0.15

[†]Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$ %).

fotosintética, ya que la tasa de asimilación superó numéricamente a los testigos y a los materiales del grupo 2, y estadísticamente a JagFHC y ProdSG2. Este resultado coincide con lo reportado por Gui-Rui *et al.* (2004) quienes señalan que el mesófilo de la planta es el que controla la asimilación de CO₂, lo que marca la variabilidad entre las plantas.

Conductancia estomática

Aunque no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre genotipos, si se observaron diferencias numéricas; el genotipo ProdSG1 fue superado numéricamente por el testigo Cafime, que obtuvo el mayor valor. El genotipo Jagüey y el testigo CPrecoz obtuvieron el mismo valor numérico, siendo superados por el testigo Van210 y PobMej; los genotipos CMSelPre y JagFHC presentaron también los mismos valores, superando al genotipo CMSelTar. El genotipo ProdSG2 presentó el menor valor, difiriendo del testigo T2 Cafime en un 57.7 %.

Lo anterior sugiere que este genotipo presenta limitaciones estomáticas, ya que el valor obtenido es reducido, lo cual indica una resistencia a la entrada de CO₂ a la planta a través de los estomas. Relacionar la concentración de CO₂ intercelular (Ci), con la tasa de asimilación de CO₂ y la conductancia estomática, proporciona información sobre las limitaciones impuestas por la misma planta a nivel del mesófilo o por el cierre de los estomas.

De acuerdo a los resultados, no se presentaron diferencias significativas entre genotipos para Ci; numéricamente los genotipos Jagüey y ProdSG2 presentaron los menores valores. Sin embargo, la tasa de asimilación de CO₂ fue menor en ProdSG2 en comparación con Jagüey. La diferencia en la tasa de asimilación de CO₂ fue de 23.4 %, lo que indica que Jagüey presenta un mesófilo más eficiente que ProdSG2. Lo anterior se puede confirmar con los valores de g_s, ya que son estadísticamente iguales y difieren en 0.04 mol H₂O m⁻² s⁻¹.

Esto nos indica que no se presentó limitación estomática en ambos genotipos, sino que la diferencia se debió, como se mencionó anteriormente, a la capacidad del mesófilo. El testigo T2Cafime presentó un valor alto de Ci y de g_s, en comparación con los materiales criollos y los mejorados; lo anterior indica que presenta limitación en el mesófilo y no estomática.

Con relación a Tr, se observó el más alto valor en el testigo T2Cafime, y la menor transpiración en ProdSG2. El resto de los genotipos mantuvo valores intermedios, sin tendencias entre grupos genéticos. La variable Ci/Ca no presentó diferencias significativas entre genotipos, sin embargo, si los hubo numéricos; el valor que obtuvo Jagüey, se relaciona con su capacidad para fijar CO₂ en el proceso fotosintético.

Calidad fisiológica

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables relacionadas con la velocidad de emergencia, se muestran en el Cuadro 3.

Se observaron diferencias significativas en todas las variables, en la fuente de variación genotipos, indicando que los materiales estudiados difieren en el desarrollo de plúmula y radícula, repercutiendo en la producción de materia seca y velocidad de emergencia.

El análisis de comparación de medias (Cuadro 4), para la LP, no encontró diferencia entre los dos grupos, sin embargo, el grupo 1 (Jagüey y ProdSG2) mostró mayor longitud de plúmula después del testigo T1CPrecoz. El mismo resultado se presentó en LR, en donde no se observó una diferencia entre los dos grupos, el testigo T1CPrecoz mostró nuevamente el mayor valor. El IVE fue mayor en los dos testigos T1CPrecoz y T2Cafime, cuya población está constituida con materiales criollos y población mejorada respectivamente. Después de estos, los materiales con los mayores valores fueron la población criolla Jagüey y las combinaciones de ésta con la población mejorada (CMSelPre y CMSelTar), así como ProdSG2. El testigo T3Van210 obtuvo el menor índice de emergencia. En la variable E, el testigo T1CPrecoz presentó el mayor

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para la medición de índice de velocidad de emergencia (IVE) de siete genotipos de maíz criollo mejorado, como efecto de diferentes estrategias de selección y mejoramiento genético.

FV	GL	LP (cm)	LR (cm)	GL	IVE	E (%)	PF (g/planta)	PS (g/planta)
Genotipos	9	183.51 **	132.00 **	9	0.57 **	522.17 **	0.91 **	0.005 **
Error	190	15.73	19.80	30	0.08	74.44	0.10	0.001
C.V. (%)		16.67	29.29		10.79	9.75	16.61	18.54

gl = Grados de libertad; LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; IVE = Índice de velocidad de emergencia; E = Emergencia en el último conteo; PF = Peso fresco; PS = Peso seco; C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro 4. Comparación de medias de los genotipos evaluados para la medición del IVE

Gen	Gpo	LP (cm)	LR (cm)	IVE	E (%)	PF (g/planta)	PS (g/planta)
T1CPrecoz	3	27.08 a [†]	18.86 a	13.13 a	100.00 a	2.56 a	0.20 a
Jagüey	1	26.97 a	16.44 ab	2.85 a	90.00 ab	2.27 ab	0.16 abc
ProdSG2	1	26.13 a	14.27 bcd	2.73 ab	90.00 ab	2.03 abc	0.14 abc
CMSelPre	2	25.35 ab	17.33 ab	2.85 a	98.33 a	2.08 abc	0.14 abc
ProdSG1	1	24.12 abc	11.10 d	2.13 bc	66.67 c	1.65 bcd	0.13 bcd
T2Cafime	3	24.12 abc	15.92 abc	2.88 a	96.67 a	2.11 abc	0.15 abc
CMSelTar	2	24.07 abc	17.80 ab	2.82 a	91.67 a	2.20 abc	0.17 ab
JagFHC	1	21.37 bcd	14.44 abcd	2.48 abc	86.67 abc	1.60 bcd	0.11 bcd
PobMej	2	21.28 cd	14.27 bcd	2.60 ab	95.00 a	1.48 cd	0.10 cd
T3 Van210	3	17.36 d	11.52 cd	1.89 c	70.00 bc	0.92 d	0.07 d
Tukey		4.02	4.51	0.69	20.81	0.76	0.06

[†] Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$ %). GEN = Genotipo.

valor y fue estadísticamente igual a los genotipos del grupo 2 y al testigo T2Cafime. El genotipo criollo ProdSG1 mostró la menor viabilidad en un periodo de 8 días después de la siembra. En cuanto a PS, el testigo T1CPrecoz, produjo mayor materia seca por plántula, el grupo 1 mostró una tendencia de producir mayor materia seca que los materiales del grupo 2. El testigo T3Van210 fue el menor productor de materia seca de todos los genotipos.

Conclusiones

Los materiales criollos tienen mayor longitud de plúmula y radícula, además de presentar mayor contenido de materia seca, comparado con los materiales mejorados, esto se debe a que estos últimos están adaptados a condiciones benéficas o de riego, en donde se aplican todos los insumos, mientras que los materiales criollos están adaptados a condiciones adversas como lo es el de secano, en donde estos materiales son muy nobles, ya que resisten estas condiciones y además son mas eficientes en la producción de materia seca; esto se respalda con los resultados obtenidos en la medición de fotosíntesis, en donde los materiales criollos tuvieron un mesófilo muy eficiente en la fijación de CO₂.

Literatura Citada

- Estrada, G. J.A., A. Hernández L., F. Hernández O., A. Carballo C. y F.V. González C. 1999. Tipos de endospermo en maíz y su relación con la calidad de semilla. *Fitotec. Mex.* 22(1):99-109.
- Gui-Rui, Y., W. Qiu-Feng and J.I.E. Zhuang. 2004. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. *J. Plant Physiol.* 161(3): 303-318.

- Guillén, P. L.A., C. Sánchez Q., S. Mercado D. y H. Navarro G. 2000. Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia.* 36:377-387.
- Hampton, J. G and P. Coolbear. 1990. Potential versus actual seed performance – can vigour testing provide an answer?. *Seed Sci. And Technol.* 18 (1): 215-228.
- Hernández, G. J.A., A. Carballo C., A. Hernández L. y F. V. González C. 2000. Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición del vigor en semilla de maíz. *Fitotec. Mex.* 23: 239-250.
- Mooney, A. H., W. E. Winnor, and E. J. Pell. 1991. Response of plants to multiple stress. Academic Press. Inc. CA. USA. 257 p.
- Otegui, M. E., M. G. Nicolini, R. A. Ruiz, and P. A. Dodds. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron. J.* 87: 29-33.
- Pérez, C. A., J. D. Molina G. y A. Martínez G. 2002. Selección masal para adaptación en razas de maíz en los Valles Altos de México: Cambios en el rendimiento y caracteres agronómicos. *Investigación Agric. No. 7.* Fundación para la Investigación Agrícola, DANAC, Yaracuy, Venezuela.
- SAS. 1999. SAS OnlineDoc®, Versión 8, Cary, NC. SAS Institute Inc.
- Singh, B. R., and D. P. Singh. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Research.* 42: 57-67.
- Smith, M. E., F. Castillo G. and F. Gómez. 2001. Participatory plant breeding with maize in México and Honduras. *Euphytica.* 122 (3): 551-563.
- Tallury, S. P. and M. M. Goodman. 1999. Experimental evaluation of the potencial of tropical germplasm for temperature maize improvement. *Theor. Appl. Genet.* 98:54-61.