

Genotipos de maíz con potencial forrajero para las condiciones de secano del estado de Guerrero, México

Francisco Palemón Alberto¹
Guadalupe Reyes García^{1§}
Noel Orlando Gómez Montiel²
Mauro Sierra Macías³
Ricardo Ernesto Preciado Ortiz⁴
Santo Ángel Ortega Acosta¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales-Universidad Autónoma de Guerrero. Periférico poniente s/n, Colonia Villa de Guadalupe, Guerrero. CP. 40020. Tel. 733 3334776. (alpaf75@hotmail.com; angelortega011185@hotmail.com). ²Campo Experimental Iguala-INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, Guerrero. CP. 40000. Tel. 01800 0882222. (gomez.noel@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Medellín de Bravo, Veracruz, México. CP. 92277. (sierra.mauro@inifap.gob.mx). ⁴Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38010. (preciado.ricardo@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: zary1313@yahoo.com.mx.

Resumen

El desarrollo de genotipos de maíz (*Zea mays* L.) para producción de forraje en condiciones de secano es incipiente, debido a que no se ha difundido variedades específicas para tal fin. El objetivo fue identificar híbridos con potencial forrajero para condiciones de secano del estado de Guerrero, México. Se evaluaron 25 genotipos de maíz en condiciones de secano, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de longitud, 0.8 m de ancho entre surcos, a 0.17 m entre plantas para obtener una densidad de población de 73 529 plantas ha⁻¹. Se fertilizó con la fórmula 120N-60P-00K. Los caracteres estudiados fueron: altura de planta, altura de mazorca, peso de planta, peso de mazorca, rendimiento de forraje verde, de grano y de forraje seco. Los resultados indicaron diferencias altamente significativas en los caracteres estudiados. Los híbridos trilineales experimentales H-H562xHCF₂-91, H-H565xHCF₂-91, H-H516xHCF₂-91, híbrido de cruza simple 329x97 y el testigo H-564C destacaron en rendimiento de forraje verde y los híbridos de cruza simple 1275x1277, 1278x1276, híbridos experimentales H-H516xHCF₂-91 y H-H565xHCF₂-91 expresaron mayor rendimiento de forraje seco.

Palabras clave: *Zea mays* L., forraje, híbridos trilineales experimentales, rendimiento de grano.

Recibido: octubre de 2019

Aceptado: noviembre de 2019

El maíz tiene productividad alta de forraje, contenidos bajos de proteína, minerales, materia seca y valor energético alto (Núñez *et al.*, 2015), su calidad nutricional varía en función del contenido de proteína, fibra, digestibilidad y materia seca (Cabrales *et al.*, 2007). Las características de un maíz forrajero son: ciclo tardío, porte alto, hojas laxas, producción alta de materia seca, y los híbridos intermedios son de hojas erectas (Montemayor *et al.*, 2007). Cuomo *et al.* (1998), reportaron mayor rendimiento de materia seca con 58 000 plantas ha^{-1} ; Reta *et al.* (2000) con 86 000 plantas ha^{-1} reportaron 70 t ha^{-1} de rendimiento de forraje verde.

En este contexto, la densidad de población mayor a 80 000 plantas ha^{-1} , afecta el rendimiento de grano y calidad de forraje (Peña *et al.*, 2010). En el estado de Guerrero, los ganaderos no cuentan con genotipos aptos para producir forraje y carecen de información e indicadores precisos del rendimiento en biomasa. Ante esta problemática, el objetivo de este estudio fue identificar genotipos con potencial forrajero para recomendarse en condiciones de secano para el Trópico de México, bajo la hipótesis de que los genotipos bajo estudio tienen potencial genético para la producción de forraje.

La investigación se desarrolló en dos etapas: 1) el incremento de semilla de los híbridos y variedades de maíz se realizó en los Campos Experimentales de Cotaxtla en Veracruz, Bajío en Celaya, Guanajuato e Iguala, estado de Guerrero; y 2) los cruzamientos se realizaron en los Campos Experimentales de Iguala y Guanajuato del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Evaluación agronómica del material genético y diseño experimental

Se evaluaron 25 genotipos de maíz en el ciclo agrícola primavera-verano (P-V) en secano de 2016, en el Campo Experimental de Iguala, Guerrero, ubicado en las siguientes coordenadas de 18° 21' 45'' latitud norte y 90° 30' 05'' longitud oeste, a 735 msnm y clima Awo (w) g, el más seco de los cálidos húmedos con lluvia en verano, temperatura media anual de 26 °C, siendo mayo el mes más cálido con cerca de 44 °C, la precipitación media anual es de 977.15 mm (García, 2004).

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, la unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de longitud con surcos de 0.8 m de ancho con una planta cada 0.17 m, lo que produjo una densidad de población de 73 529 plantas ha^{-1} . La siembra fue de secano, la fertilización con la fórmula 120N-60P-00K, se aplicó 50% de N y todo el fósforo en la siembra y el resto del N a los 45 dds. Se aplicó atrazina + terbutrina en preemergencia, a razón de 2 L ha^{-1} para controlar la maleza, Terfubos al 15% G a una dosis de 7 kg ha^{-1} para controlar *Phyllophaga* spp. y *Agrotis lineatus*, permetrina granulado al 5% a dosis de un saco por hectárea y monocrotofos a dosis de 1 L ha^{-1} para combatir *Spodoptera frugiperda* Smith y *Heliothis zea*.

Caracteres agronómicos y análisis estadístico

Se midió en cm, la altura de planta (AP) y la altura de mazorca (AMz), índice de posición de la mazorca (IPMz), se dividió la AMz/AP, se pesó en kg, la planta (PP) y la mazorca (PMz), índice de mazorca (IMz), se dividió el PMz/PP, rendimiento de forraje verde (RFV), rendimiento de grano (RGr), se calculó mediante el peso de la mazorca de la parcela útil x porcentaje de grano x porcentaje de humedad x factor de conversión a kg ha^{-1} , rendimiento de forraje seco (RFS), se llevó a peso constante durante treinta días, índice de forraje seco (IFS), se dividió el RFS/RFV.

En el análisis estadístico de los datos incluyó: análisis de varianza, comparación de medias con la prueba LSD de Fisher (con nivel de significancia de 5%) entre las variables medidas. Se usó el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0.

Análisis de varianza y comparación de medias

El análisis de varianza (Andeva) indicó que los cuadrados medios del factor genotipo fue altamente significativo ($p \leq 0.01$) en cinco variables, dos fueron significativos ($p \leq 0.05$) y tres no mostraron significancia estadística. En experimentos conducidos en campo, se han reportado coeficientes de variación (CV) que fluctúan entre 3 a 10%, 11 a 20% y 21 a 30%, clasificados como bajo, medio y alto (Pimentel, 1985).

En rendimiento de forraje verde reportaron 6.6 a 20.8% (Baghdadi *et al.*, 2012), rendimiento de grano de 12.4 a 17% (Gómez *et al.*, 2008), rendimiento de forraje seco de 5.06 a 23.2% (Gaytán *et al.*, 2009; Peña *et al.*, 2010), además se ha sugerido que los CV mayores a 30% deben ser descartados (Patel *et al.*, 2001). En la presente investigación los CV fluctuaron entre 8.1 a 18.6%, lo cual significa que los resultados son consistentes y confiables (Gordón y Camargo, 2015).

La altura de planta (AP) promedio fue de 250 cm, y fluctuó de 188.6 a 275.6 cm, resultados similares a los reportados por Shelton y Tracy (2013); Manjarrez *et al.* (2014); Gómez *et al.* (2016). Diversos investigadores consideran importante medir la altura de planta en maíz para explorar la diversidad genética entre plantas (Núñez *et al.*, 2015).

El híbrido intervarietal HV-65 presentó mayor altura de mazorca (AMz); por el contrario, la variedad sintética VS-535 y los híbridos experimentales H-H563xHCF₂-91 y H-H516xHCF₂-91 exhibieron valores inferiores (101, 103 y 104 cm) a la media general (122.2 cm), resultados similares fueron reportados por Palemón *et al.* (2012) en cruza intervarietales de maíz. Aunado a lo anterior, la altura de mazorca debe ubicarse alrededor de 92 cm para que la planta este equilibrada y evitar el acame de tallo o raíz por efecto de la altura y peso de la mazorca (Shelton y Tracy, 2013).

En este trabajo la posición relativa de la mazorca fue baja en los genotipos con origen en Iguala (0.46), media en Cotaxtla (0.49) y alta los de Celaya (0.55). El híbrido experimental H-H562xHCF₂-91 destacó en peso de planta con 35.8 kg y el menor peso correspondió a la VS-536 (21.8 kg). Los híbridos experimentales superaron a los híbridos comerciales testigo H-520, H-563, H-516, H-562, HV-65 y las variedades testigo VS-535, VS-536 y V537C.

En peso de mazorca, diez híbridos experimentales igualaron al testigo H-516 que produjo mayor peso de mazorca (12.58 kg); por el contrario, el híbrido intervarietal HV-65 presentó menor peso (2.16 kg), al contrastar los valores extremos se encontró 10.42 kg de variación. El híbrido comercial H-516 presentó mayor índice de posición de la mazorca (0.44), lo cual indica que 44% de la biomasa de la planta está representada por la mazorca. Distinto al HV-65 exhibió menor índice de mazorca (9%).

Los híbridos comerciales testigo H-520, H-564C, H-565, H-563, H-562, HV-65 y las variedades VS-535, VS-536 y V-537C, fueron superados estadísticamente por 10 híbridos experimentales en peso de mazorca.

El rendimiento de forraje verde (RFV) fluctuó de 29 a 46 t ha⁻¹, con un promedio de 38.8 t ha⁻¹. El híbrido comercial testigo H-564C produjo mayor RFV, su mazorca estuvo posicionada a la mitad de la altura de la planta (IPMz de 0.5) y relativamente menor biomasa invertida en la mazorca (IPMz de 0.28), es notorio que tuvo bajo índice de forraje seco (6%), este resultado indica que su forraje verde es pesado y con mayor contenido de líquidos; no obstante, su RFV fue similar a ocho híbridos experimentales e híbridos comerciales testigo H-565 y H-563.

Los híbridos trilineales experimentales H-H562xHCF₂-91 y H-H565xHCF₂-91 produjeron 46 834 y 46 683, kg ha⁻¹ y superó a los híbridos comerciales (H-520, H-516, H-562 y HV-65), variedades (VS-535, VS-536 y V-537) y a siete híbridos experimentales. El RFV de la variedad sintética VS-536 (29 083 kg ha⁻¹) respecto al híbrido H-H562xHCF₂-91 (46 834 kg ha⁻¹), se detectó 17 751 kg ha⁻¹ de variación a una densidad de población de 75 000 plantas ha⁻¹. Mandic *et al.* (2015) reportaron que con 71 429 plantas ha⁻¹ obtuvieron 67.51 t ha⁻¹ rendimiento de forraje verde, Sharifi y Namvar (2016) recomiendan 110 000 plantas ha⁻¹ para obtener un mayor RFV.

Los híbridos trilineales comerciales testigo H-563 y H-565 exhibieron mayor producción de forraje verde a una densidad de población de 75 000 plantas ha⁻¹, mismos que se han adaptado a climas tropicales, con rendimiento de masa para tortilla de 1.8 y 1.9 kg por 1 kg de maíz (Gómez *et al.*, 2013a; 2013b). El híbrido H-564C produjo alto RFV, buena cobertura de mazorca, sanidad de planta y mazorca y calidad de masa y tortilla es buena (Sierra *et al.*, 2011). Se detectaron ocho híbridos experimentales con potencial genético para la producción de forraje verde y compitieron con tres híbridos comerciales testigo (H-563, H-564C y H565).

El híbrido simple 329x97 produjo mayor rendimiento de grano (7 183 kg ha⁻¹) y fue similar a los híbridos experimentales H-H562xHCF₂-91 y H-H565xHCF₂-91 sobresalientes en RFV y RFS y superaron a los híbridos comerciales testigo (H-516, H-520, H-562, H-564C, H-565 y el HV-65). La variedad sintética VS-536 y el híbrido varietal HV-65 produjeron menor rendimiento de grano, peso de planta y mazorca.

Vázquez *et al.* (2013), reportaron que con 80 000 plantas ha⁻¹, los componentes de rendimiento de maíces de alta calidad de proteína fueron afectados. Lashkari *et al.* (2011) evaluaron 70 000 a 80 000 plantas ha⁻¹, aumentó el rendimiento de grano y disminuyó el número de granos por hilera, número de granos por mazorca y longitud de mazorca de tres híbridos. Mandic *et al.* (2016) evaluaron 5.6 a 7.1 plantas m⁻² y reportaron que el rendimiento de grano aumentó 5.94% (790 kg) y disminuyó el diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, peso de 1 000 granos, peso de mazorca (Safari *et al.*, 2014).

Haddadi y Mohseni (2014) evaluaron 75, 85, 95 y 105 mil plantas ha⁻¹, reportaron mayor rendimiento de grano con 75 000 plantas ha⁻¹. Estos estudios indican que la producción de forraje es tolerable a cierto nivel de pérdida de granos para obtener mayor rendimiento de forraje verde con altas densidades.

El rendimiento promedio de forraje seco (RFS) fue de 2.4 kg, y varió de 2 a 2.9 kg de materia seca. Los híbridos comerciales testigo H-520, H-562 y H-564C y ocho híbridos experimentales produjeron similar RFS. Los híbridos H-516, H563, H-565, HV-65, las variedades VS-535, VS-536 y V-537C y ocho híbridos experimentales fueron superados en RFS por los híbridos experimentales y tres híbridos comerciales.

El híbrido trilineal testigo H-562 es sobresaliente en rendimiento de grano, producción de materia seca, cobertura de mazorca y se adapta en áreas cálidas y semicalidas de los estados de Tamaulipas, Yucatán, Chiapas, Guerrero y Sinaloa (Gómez *et al.*, 2008) el H-562 expresó alto índice de forraje seco (8%); es decir, el híbrido produce forraje con menor contenido de líquidos y mayor contenido de materia seca.

Conclusiones

Se identificaron genotipos con aceptable rendimiento de forraje verde y seco en un ambiente cálido de Iguala, Guerrero. Además de forraje, se identificaron híbridos experimentales con rendimiento de grano deseable y que el agricultor considera de importancia económica. Los progenitores que se utilizaron como hembras H-H-516, H-H-562 y H-H-565 al cruzarse con la línea HCF2-91, generaron híbridos trilineales con características agronómicas, componentes de rendimiento de grano y forraje sobresalientes. El híbrido trilineal H-H565xHCF₂-91 destacó en la mayoría de las variables, fue registrado ante el SNICS como H-568. El testigo H-563 mostró potencial genético en características relacionadas con el forraje. El híbrido experimental HEC-734286, tuvo respuesta favorable en rendimiento de forraje verde, seco y grano. Los híbridos generados en Celaya, Guanajuato de clima más fresco respondieron a la localidad de Iguala con clima más cálido. Se identificaron híbridos comerciales y experimentales con características forrajeras.

Literatura citada

- Baghdadi, A.; Halim, R. A.; Majidian, M.; Noordin, W. N. W. and Ahmad, I. 2012. Forage corn yield and physiological indices under different plant densities and tillage systems. *J. Food. Agric. Env.* 10(3-4):707-712.
- Cabral, R.; Montoya, R. y Rivera, J. 2007. Evaluación agronómica de 25 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) con fines forrajeros en el Valle del Sinu medio. *Rev. MVZ Córdoba.* 12(2):1054-1060.
- Cuomo, G. J.; Redfearn, D. D. and Blouin, D. C. 1998. Plant density effects on tropical corn forage mass, morphology, and nutritive value. *Agron. J.* 90(1):93-96.
- García, M. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 246 p.
- Gaytán-Bautista, R.; Martínez-Gómez, Ma. I. y Mayek-Pérez, N. 2009. Rendimiento de grano y forraje en híbridos de maíz y su generación avanzada. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 35(3):295-304.
- Gómez-Montiel, N. O.; Cantú, A. M. A.; Sierra M. M.; Hernández, G. C. A.; Espinosa, C. A. y González, C. M. 2013b. Maíz híbrido H-565, nueva versión del H-507 para el trópico bajo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 4(5):819-824.
- Gómez-Montiel, N. O.; González-Camarillo, M.; Cantú-Almaguer, M. A.; Sierra-Macías, M.; Coutiño-Estrada, B. y Manjarrez, S. M. 2013a. H-563, híbrido de maíz tropical tolerante a la enfermedad 'Mancha de Asfalto'. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(1):81-83.
- Gómez-Montiel, N. O.; Palemón-Alberto, F.; Reyes-García, G.; Hernández-Galeno, C. A.; Cantú-Almaguer, M. A.; Juárez-López, P. y Ascencio-Álvarez, A. 2016. Rendimiento de grano y características fenotípicas de maíz: efecto de ambiente y dosis de fertilización. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 7(8):1801-1813.

- Gómez-Montiel, N. O.; Sierra, M. M.; González, C. M.; Cantú, A. M. A.; Ramírez, F. A.; Wong, P. J. J.; Manjarrez, S. M.; Ramírez, D. J. L. y Espinosa, C. A. 2008. H-562, híbrido de maíz de alto rendimiento para el trópico húmedo y seco de México. *Agric. Tec. Mex.* 34(1):101-105.
- Gordón-Mendoza, R. y Camargo-Buitrago, I. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agron. Mesoam.* 26(1):55-63.
- Haddadi, M. H. and Mohseni, M. 2014. Effect of the plant density and sowing date on kernel yield in early maturing maize. *Int. J. Plant Animal Env. Sci.* 4(4):170-175.
- Lashkari, M.; Madani, H.; Reza-Ardakani, M.; Golzardi, F. and Zargari, K. 2011. Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Amer. Euras. J. Agric. Sci.* 10(3):450-457.
- Mandic, V.; Bijelic, Z.; Krnjaja, V.; Tomic, Z.; Stanojkovic-Sebic, A.; Stanojkovic, A. and Caro-Petrovic, V. 2016. The effect of crop density on maize grain yield. *Biotechnology in Animal Husbandry.* 32(1):83-90.
- Mandic, V.; Krnjaja, V.; Bijelic, Z.; Tomic, Z.; Simic, A.; Stanojkovic, A.; Petricevic, M.; Caro-Petrovic, V. 2015. The effect of crop density on yield of forage maize. *Biotechnol. Animal Husbandry.* 31(4):567-575.
- Manjarrez-Salgado, M.; Palemón-Alberto, F.; Gómez-Montiel, N. O.; Espinosa-Calderón, A.; Rodríguez-Herrera, S. A.; Damián-N, A.; Hernández-Castro, E. y Cruz-Lagunas, B. 2014. Aptitud combinatoria general y específica de maíces normales y de alta calidad de proteína. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(7):1261-1273.
- Montemayor-Trejo, J. A., Olaguer-Ramírez, J.; Fortis-Hernández, M. Sam-Bravo, J. R.; Leos-Rodríguez, A.; Salazar-Sosa, E.; Castruita-López, J.; Rodríguez-Ríos, J. C. y Chavarría-Galicia, J. A. 2007. Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. *Terra Latinoam.* 25(2):163-168.
- Núñez-Hernández, G.; Anaya-Salgado, A.; Faz-Contreras, R. y Serrato-Medina, H. A. 2015. Híbridos de maíz forrajero con alto potencial de producción de leche de bovino. *Agrofaz.* 15(1):47-56.
- Palemón-Alberto, F.; Gómez-Montiel, N. O.; Castillo-González, F.; Ramírez-Vallejo, P.; Molina-Galán, J. D. y Miranda-Colín, S. 2012. Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicalida de Guerrero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(1):157-171.
- Patel, J. K.; Patel, M. N. and Shiyani, R. L. 2001. Coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof-an empirical study. *Curr. Sci.* 81(9):1163-1164.
- Peña-Ramos, A.; González-Castañeda, F. y Robles-Escobedo, F. J. 2010. Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(1):27-35.
- Pimentel, F. 1985. Curso de estadística experimental. Livraria Nobel SA., São Paulo, Brasil. 240 p.
- Reta-Sánchez, D. G.; Gaytán-Mascorro, A. y Carrillo-Amaya, J. S. 2000. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 23(1):37-47.
- Safari, A. R.; Hemayati, S. S.; Salighedar, F. and Barimavandi, A. R. 2014. Yield and quality of forage corn (*Zea mays* L.) cultivar single cross 704 in response to nitrogen fertilization and plant density. *Int. J. Bioscs.* 4(10):146-153.
- Sharifi, S. R. and Namvar, A. 2016. Plant density and intra row spacing effects on phenology, dry matter accumulation and leaf area index of maize in second cropping. *Biologija.* 62(1):46-57.

- Shelton, A. C. and W. F. Tracy. 2013. Genetic variation and phenotypic response of 15 sweet corn (*Zea mays* L.) hybrids to population density. *Sustainability*. 5(6):2442-2456.
- Sierra-Macías, M.; Palafox-Caballero, A.; Rodríguez-Montalvo, F.; Espinosa-Calderón, A.; Vázquez-Carrillo, G.; Gómez-Montiel, N. O. y Barrón-Freyre, S. 2011. H-564: híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 2(1):71-84.
- Vázquez, C. M. G.; Mejía, A. H.; Salinas, M. Y. y Santiago, R. D. 2013. Efecto de la densidad de población en la calidad de grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3):225-232.