

Producción y calidad de grano y rastrojo en maíces en el altiplano poblano

Jose Roberto Hurtado-Anchondo¹
J. Arahón Hernández-Guzmán¹
José Isabel Olvera-Hernández¹
Luz del Carmen Lagunes-Espinoza²
Efraín Pérez-Ramírez¹
Juan de Dios Guerrero-Rodríguez^{1§}

¹Colegio de Postgraduados-*Campus* Puebla-Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Carretera Federal México-Puebla km 125.5, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760. ²Colegio de Postgraduados-*Campus* Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México.

§Autor para correspondencia: rjuan@colpos.mx.

Resumen

La mayoría de las unidades de producción de rumiantes en los valles altos, en diversas regiones de México, integran al maíz como fuente de forraje. Este cultivo debe ser, por tanto, alto productor de grano y rastrojo de calidad. Con base en esto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento de 36 genotipos de maíz en el altiplano de Puebla durante el año 2017. Los genotipos fueron siete híbridos comerciales, una variedad sintética, nueve poblaciones de polinización libre y diecinueve híbridos experimentales de cruce simple derivados de variedades locales. La siembra se realizó en tres experimentos con diseño látice 6x6 en unidades experimentales de dos surcos de 80 cm de ancho por cinco metros de largo. Se evaluaron variables relacionadas con características propias de las plantas y químicas del rastrojo producido. La principal variable discriminatoria fue rendimiento útil (RUT) que incluyó el rendimiento de grano (RGR) con la producción y digestibilidad del rastrojo. Los genotipos fueron diferentes ($p < 0.001$) en todas las variables medidas. En RUT, los genotipos sobresalientes fueron: HS-2[®], Águila 215W[®], SM-16 60x66, SM-16 5x64, SM-16 64x66, SM-16 53x64, SM-16 13x44, SM-16 23x60, SM-16 58x21, SM-16 44x64, SM-16 136x142, Niebla[®] y SM-16 21x64. No obstante, esta variable logra enmascarar genotipos que tienen producciones altas de grano y rastrojo, pero que tienen baja digestibilidad. Sólo el SM-16 5x64 tuvo superioridad en digestibilidad, pero rendimiento medio de materia seca de rastrojo, lo cual le da mayor potencial para ser un genotipo de doble propósito.

Palabras clave: calidad de rastrojo, digestibilidad, integración cultivos-ganadería, valles altos.

Recibido: diciembre de 2020

Aceptado: marzo de 2020

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo que se aprovecha como alimento para el ser humano y los animales. En el caso de la ganadería de rumiantes, éste puede ser suministrado en grano, en forraje verde, en ensilado o en rastrojo (sobrantes de la planta del maíz una vez que se colecta el grano). De este modo, los cultivos en los sistemas de producción donde se integra la parte agrícola con la ganadera deben cumplir la función de producir grano y rastrojo a la vez. De ello se deriva que la función de doble propósito es definida como la capacidad que tienen los cultivos para producir a la vez rastrojo y grano en cantidad y calidad (p. ej. mayor digestibilidad) suficientes para la alimentación humana y del ganado (Peña *et al.*, 2008; Blümmel *et al.*, 2013).

En el altiplano de Puebla se tienen problemas para la producción de maíz debido principalmente a la poca disponibilidad de las tierras, al fenómeno de la importación de este grano, al poco apoyo al campo y a efectos atribuidos al cambio climático. Por ello, el contar con nuevos cultivares de maíz, resistentes (o con mayor tolerancia al cambio climático) y que cumplan con la doble función de proveer alimento para consumo humano (grano) y animal (grano y forraje), es fundamental.

Al respecto, se han realizado investigaciones en Asia, en trópico seco (Anandan *et al.*, 2013; Ravi *et al.*, 2013; Zaidi *et al.*, 2013), en donde se encontró que existe variación en producción de grano, de rastrojo y su calidad. En México, algunos autores (Aceves *et al.*, 2002; Muñoz *et al.*, 2013) han comparado poblaciones locales (también llamadas nativas) de maíz con variedades híbridas en rendimiento de grano y forraje en condiciones de temporal. Estos autores encontraron que las poblaciones locales tienen mayor rendimiento de grano (hasta 30% más) y materia seca de rastrojo (hasta 45% más) que las híbridas. Sin embargo, no se han identificado variedades con potencial de doble propósito, sólo se han descrito las posibles variedades con mayores rendimientos de rastrojo.

Con base en lo anterior, se propuso la presente investigación, con el fin de detectar genotipos de maíz de doble propósito, que tengan mayor funcionalidad para los sistemas de producción mixtos en donde la producción de cultivos está integrada con la ganadería y que puedan servir como material genético base para futuros programas de mejoramiento con este enfoque.

Materiales y métodos

Área de estudio, y localización de experimentos

En tres municipios del Estado de Puebla, México, durante el año 2017, se establecieron tres experimentos en condiciones de temporal. Las localidades fueron San Mateo Capultitlán, municipio de Huejotzingo, en los paralelos 19° 12' 14" latitud norte y 98° 25' 38" longitud oeste a una altitud de 2 281 m; San Nicolás Zecalacoayan, municipio de Chiautzingo, en las coordenadas 19° 12' 27" latitud norte y 98° 29' 41" longitud oeste, a una altitud de 2489 m, y San Juan Cuautlancingo, en las coordenadas 19° 04' 58" latitud norte y 98° 17' 03" longitud oeste con altitud de 2 164 m.

Material genético

Se utilizaron nueve poblaciones locales sobresalientes (PLS), 19 híbridos experimentales de cruce simple (HCS), una variedad sintética (VS) y siete híbridos comerciales (HC) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cultivares de maíz evaluados en el altiplano poblano, 2017.

Cultivar	Denominación	Origen	Tipo	Color de grano
1	Híbrido experimental	SM-16, 5x64	HCS	Blanco
2	Híbrido experimental	SM-16, 13x44	HCS	Blanco
3	Híbrido experimental	SM-16, 21x64	HCS	Blanco
4	Híbrido experimental	SM-16, 22x64	HCS	Blanco
5	Híbrido experimental	SM-16, 23x60	HCS	Blanco
6	Híbrido experimental	SM-16, 44x64	HCS	Blanco
7	Híbrido experimental	SM-16, 53x64	HCS	Blanco
8	Híbrido experimental	SM-16, 58x21	HCS	Blanco
9	Híbrido experimental	SM-16, 60x66	HCS	Blanco
10	Híbrido experimental	SM-16, 61x21	HCS	Blanco
11	Híbrido experimental	SM-16, 63x21	HCS	Blanco
12	Híbrido experimental	SM-16, 64x66	HCS	Blanco
13	Híbrido experimental	SM-16, 121x142	HCS	Amarillo
14	Híbrido experimental	SM-16, 122x142	HCS	Amarillo
15	Híbrido experimental	SM-16, 123x142	HCS	Amarillo
16	Híbrido experimental	SM-16, 124x142	HCS	Amarillo
17	Híbrido experimental	SM-16, 125x142	HCS	Amarillo
18	Híbrido experimental	SM-16, 136x142	HCS	Amarillo
19	Población local sobresaliente (PLS)	SM-16, 166 #	PL	Rojo
20	Población local sobresaliente (PLS)	SM-15, 218 #	PL	Azul
21	Híbrido experimental	SM-15, 137x135	HCS	Blanco
22	Población local sobresaliente (PLS)	HQ-15, 25 #	PL	Amarillo
23	CPue-00089 (PLS)	ZAC-CP-14, 21 #	PL	Azul
24	CPue-00157 (PLS)	ZAC-CP-14, 22 #	PL	Blanco
25	CPue-00174 (PLS)	ZAC-CP-14, 23 #	PL	Blanco
26	CPue-00369 (PLS)	ZAC-CP-14, 28 #	PL	Blanco
27	CPue-00406 (PLS)	ZAC-CP-14, 29#	PL	Amarillo
28	Tropical-1 [®]	Colpos	VS	Blanco
29	CPue-00316 (PLS)	Altzayanca, Tlax.	PL	Amarillo
30	HS-2 [®]	ColPos	HC	Blanco
31	Imparable [®]	Berentsen	HC	Blanco
32	Águila 215W [®]	Semillas Lobo	HC	Blanco
33	SB 352 Deseado [®]	Berentsen	HC	Blanco
34	SBA 404 Bárbaro [®]	Berentsen	HC	Amarillo
35	SBA-470 Conquistador [®]	Berentsen	HC	Amarillo
36	Niebla [®]	Ceres	HC	Blanco

Manejo agrícola y conducción experimental

En cada sitio experimental se realizó un barbecho profundo y dos pasos de rastra. Se surcó con tracción animal y se sembró con pala, a una distancia entre matas de 0.4 m. Se depositaron tres semillas por mata y después de la primera escarda se realizó un aclareo para dejar dos plantas por mata, con una densidad de 62 500 plantas ha⁻¹. Se fertilizó con la fórmula 120-50-50, aplicando a la siembra 1/3 de nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio; el resto del nitrógeno se aplicó en la segunda escarda. Las fuentes de fertilizantes fueron Triple 17 y Urea. El control de la maleza se realizó manualmente con dos escardas en cada experimento.

Condiciones ambientales durante el desarrollo del experimento

En la localidad de San Mateo Capultitlán, la temperatura y humedad relativa se midieron con un datalogger modelo LogTag[®]. Los datos de precipitación en las tres localidades se obtuvieron de SMN-CNA (2018) e INIFAP (2018). No se presentaron sequías prolongadas, ni heladas. La precipitación acumulada de abril a noviembre fue de 810 mm, con aumento progresivo de mayo a agosto (de 126 a 196, respectivamente) que representó 82% del total. En septiembre disminuyó a 80 mm, en octubre sólo se tuvieron 8 mm y en noviembre fue la mínima (2 mm). El valor de la temperatura media más alta se tuvo en mayo (26 °C) y la más baja en noviembre (16 °C), manteniéndose en los demás meses del periodo entre 18 y 20 °C.

Muestreo de plantas y preparación para el análisis de laboratorio

Al momento de cosecha, de cada unidad experimental se cortaron cuatro plantas representativas de la variación fenotípica y con competencia completa. Se cortaron al ras del suelo y se picaron a un tamaño de 10 a 35 cm, sin picar mazorcas, hojas y espigas; luego se colocaron en costales de rafia y se registró el peso fresco por muestra. Todas las muestras se expusieron al sol por una semana para su secado hasta alcanzar entre 30 a 35% de humedad. Posteriormente, se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C por 72 h, hasta eliminar toda la humedad. Cada muestra fue separada en hoja, tallo, pedúnculos y ‘totomoxtle’ (brácteas que envuelven la mazorca) y se pesaron. Se procedió a pre-moler las muestras a 3 mm, después de ello, se molieron en un molino ciclónico marca Foss Tecator[®], con malla de 1 mm, para el análisis bromatológico de laboratorio.

Variables

Días a floración masculina (DFM) y días a floración femenina (DFF)

Al inicio de la floración, cada tres días se contaron las plantas que tuvieran antesis (emisión de polen por las anteras en las espigas) y estigmas expuestos, hasta que el 50% de la población de plantas de la unidad experimental estuviera en la misma condición.

Altura de la planta (APL) y Altura de la mazorca (AMZ)

Durante la formación del elote, se midieron cuatro plantas por unidad experimental, desde la base del suelo hasta el inicio de la espiga para APL, mientras que la AMZ, fue desde la base del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior.

Rendimiento del grano (RGR)

Se registró el peso de campo y se tomó una muestra de cinco mazorcas que fueron pesadas en fresco; luego se secaron al sol por 15 días hasta eliminar gran parte de la humedad, se desgranaron y se obtuvo el porcentaje de grano, así como el peso final de la muestra. Por diferencia de peso, se determinó el porcentaje de humedad. El rendimiento se obtuvo luego de ajustar el peso obtenido en campo por el porcentaje de grano y porcentaje de humedad de la muestra. Finalmente, el rendimiento obtenido se estandarizó a 14% de humedad como se comercializa el grano.

Rendimiento de materia seca (RMS) del rastrojo y Relación hoja-tallo (RHT)

Se estimó dividiendo el peso de la muestra seca entre el número de plantas de la muestra, y multiplicando por la densidad de población por hectárea. Para la RHT se pesó por separado la hoja y el tallo, y se realizó la división.

Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en detergente ácido (LDA)

Por duplicado, se pesó una muestra de forraje molido de 0.5 ± 0.0015 g de materia seca, para FDN se lavó con una solución de detergente neutro para disolver el contenido celular. Para determinar FDA se utilizó una solución de detergente ácido con el fin de extraer la hemicelulosa. Para determinar LDA, se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 72%. La determinación de estos componentes se realizó de manera secuencial, utilizando los protocolos de Ankom Technology (Ankom Technology, 2011) y expresando los resultados en porcentaje.

Digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS)

Se determinó mediante digestibilidad enzimática *in vitro* con la técnica de dos etapas pepsina-celulosa (Jones y Hayward, 1975; Clarke *et al.*, 1982). Se pesó 0.3 ± 0.0015 g de MS en bolsas ANKOM F57, por duplicado, expresando el resultado en porcentaje.

Proteína cruda (PC)

Se determinó con 0.2 g de muestra de materia seca, bajo el procedimiento Micro Kjeldahl (AOAC, 1995). Se realizó por duplicado y el resultado se presentó en porcentaje de nitrógeno.

Rendimiento útil (RUT)

Se multiplicó el porcentaje de DIVMS por el RMS en rastrojo, a lo que se le sumó el RGR de cada uno de los maíces evaluados.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el látice triple 6x6, en San Mateo Capultitlán y en San Nicolás Zecalacoayan, y el látice simple en San Juan Cuautlancingo. La unidad experimental fue de dos surcos de 0.8 x 5.2 m, con una superficie de 8.32 m² por cada una. Los datos de las variables fueron sometidos a un análisis de varianza y a la prueba de comparación de medias de Tukey, con significancia de $\alpha = 0.05$ (Steel y Torrie, 1981), utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4 (SAS, 2008).

Resultados y discusión

Días a floración masculina y Días a floración femenina

Los cultivares de maíz (Cuadro 1) fueron diferentes ($p < 0.0001$) para alcanzar 50% de floración masculina. El promedio fue de 83 días; el grupo que presentó el menor número de días ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 29, 20, 27, 35, 15, 22, 18, 13, 14, 16 y 17, con un rango de 78 a 76 días. En cuanto a floración femenina también fueron diferentes ($p < 0.0001$) alcanzando un promedio de 85 días. El grupo que presentó el menor número de días ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 35, 22, 18, 15, 13, 14, 16 y 17 con un rango de 80 a 77 días. Con base en la variación que se presentó entre los materiales evaluados, el 8.3% correspondió al estrato tardío, 61.1% al estrato intermedio y 30.5% al estrato precoz. Los materiales más precoces fueron el SM-16 122x142, SM-16 124x142 y SM-16 125x142. Estos cultivares fueron más precoces que los mostrados en ambientes de valles altos como lo mostró Aceves *et al.* (2002) reportando un rango de 107-110 para DFF y Muñoz *et al.* (2013) quienes reportaron un rango de 121 a 132 días para la misma variable.

Altura de la planta y Altura a la mazorca

Los cultivares de maíz fueron diferentes ($p < 0.0001$) en ALP, con un promedio de 2.4 m. El grupo que presentó la mayor ALP ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 2: SM-16 13x44 con 2.78 m, 30: HS-2[®] con 2.75 m, 25, 19, 12, 7, 6, 24, 27, 26, 1, 31, 8, 3, 36, 9, 28, 5, 21 y 11, con un rango de 2.7 a 2.4 m. También fueron diferentes ($p < 0.0001$) en ALM, cuyo promedio fue de 1.2 m. El grupo con la mayor ALM ($p \leq 0.05$) fue el de los genotipos 19: SM-16 166 # con 1.57 m, 25: CPue-00174 con 1.53 m, 2, 12, 28, 6, 1, 9, 27, 7, 24, 30, 26, y 3; con un rango de 1.5 a 1.37 m.

La variación que existió entre los genotipos evaluados indica que 48% correspondió al estrato de altos, 19% al estrato de medianos y 33% al estrato de bajos. Anandan *et al.* (2013) y Vinayan *et al.* (2013) encontraron variaciones más bajas en ALP en ambientes tropicales en los que dominaron híbridos y líneas. Los materiales más altos en ALP fueron el SM-16 13x44 y HS-2[®] y los más altos en ALM SM-16 166 # y CPue-00174. Los resultados mostrados en esta investigación indican que estos materiales fueron más altos que los mostrados por Muñoz *et al.* (2013) en de valles altos quienes encontraron variaciones entre 221-130 cm y 147-54 cm en ALP y ALM, respectivamente.

Rendimiento del grano

Los genotipos de maíz fueron diferentes ($p < 0.0001$) en RGR (Figura 1). El promedio fue de 6 277 kg ha⁻¹. El grupo con el mayor RGR ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 30, 32, 9, 6, 1, 5, 2, 12 y 8 (HS-2[®], Águila 215W[®], SM-16 60x66, SM-16 44x64, SM-16 5x64, SM-16 23x60, SM-16 13x44, SM-16 64x66 y SM-16 58x21); en un intervalo entre 10 464 a 7 743 kg ha⁻¹.

Existió variación en el rendimiento de grano, lo que indica que entre cultivares existen diferencias genéticas propias y de interacción con las condiciones ambientales. Los híbridos de cruce simple y dos híbridos comerciales mostraron un RGR promedio superior a las variedades de polinización libre. Esto está relacionado con el vigor híbrido, aunque da evidencia que no todos los híbridos comerciales funcionan igual, del mismo modo ni todas las cruces simples o de polinización libre.

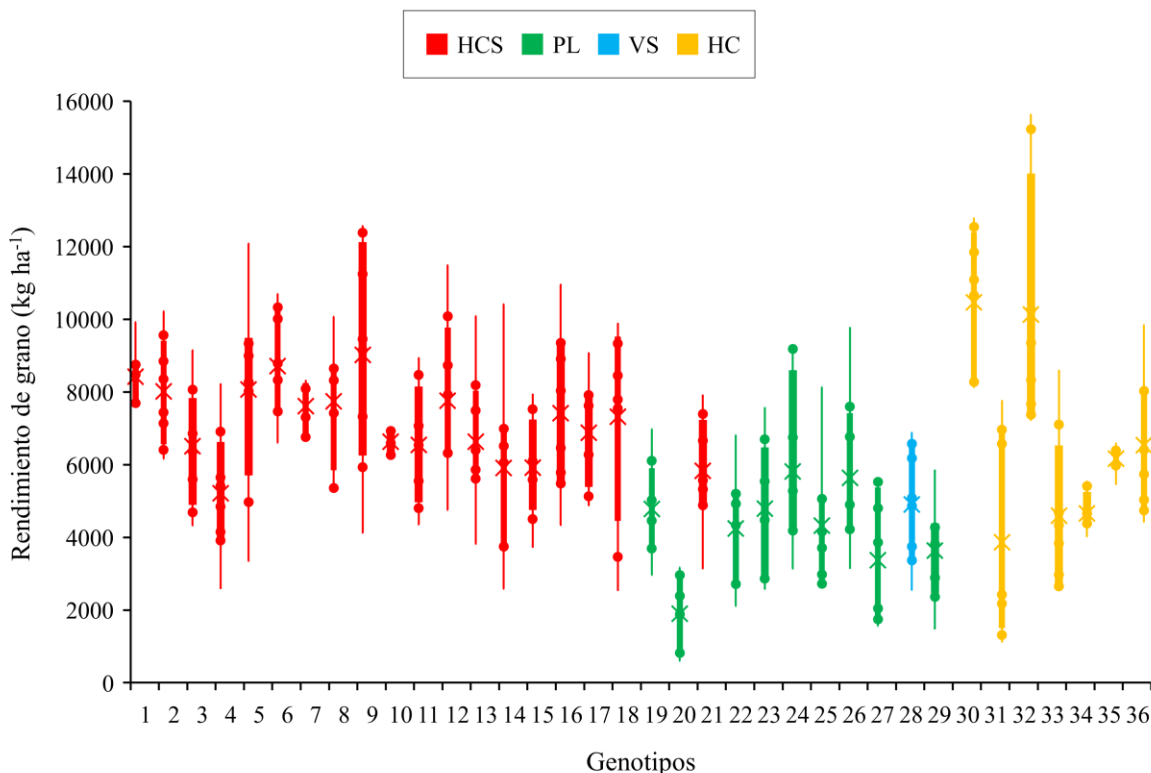


Figura 1. Distribución del rendimiento de grano en cada uno de los genotipos establecidos durante el periodo experimental. Las barras indican el rango estadístico de valores, los puntos representan los valores máximos y mínimos de cada genotipo y la 'x' indica el valor medio estadístico para cada material. Híbridos de cruce simple (HCS), polinización libre (PL), variedad sintética (VS), híbridos comerciales (HC).

El valor promedio de RGR de los cultivares en esta investigación fueron ligeramente superiores 3% a lo reportado por Aceves *et al.* (2002) en condiciones de humedad residual y 46.6% a lo reportado por Muñoz *et al.* (2013); superiores también, a lo reportado a las líneas de mayor rendimiento en ambientes tropicales en 42 y 46% (Vinayan *et al.*, 2013; Reddy *et al.*, 2013; Zaidi *et al.*, 2013) y menores en 22% a los híbridos comerciales probados por Anandan *et al.* (2013) en el trópico.

Rendimiento de materia seca de rastrojo

Los cultivares de maíz fueron diferentes ($p < 0.0001$) en RMS (Figura 2). El promedio fue de 11,566 kg MS rastrojo ha^{-1} , donde el grupo de mayor RMS ($p \leq 0.05$) fue el de los genotipos 26, 36, 12, 9, 31, 2, 7, 30, 28, 24, 3, 27, 19, 18, 21, 10, 4, 25, 8, 23, 5 y 1 (CPue-00369, Niebla[®], SM-16 64x66, SM-16 60x66, Imparable[®], SM-16 13x44, SM-16 53x64, HS-2[®], Tropical-1[®], CPue-00157, SM-16 21x64, CPue-00406, SM-16 166 #, SM-16 136x142, SM-15 137x135, SM-16 61x21, SM-16 22x64, CPue-00174, SM-16 58x21, CPue-00089, SM-16 23x60 y SM-16 5x64.), en un intervalo de 14 063 a 11 465 $kg ha^{-1}$, de los cuales 12 son híbridos de cruce simple, seis son poblaciones de polinización libre, una variedad sintética y tres son híbridos comerciales.

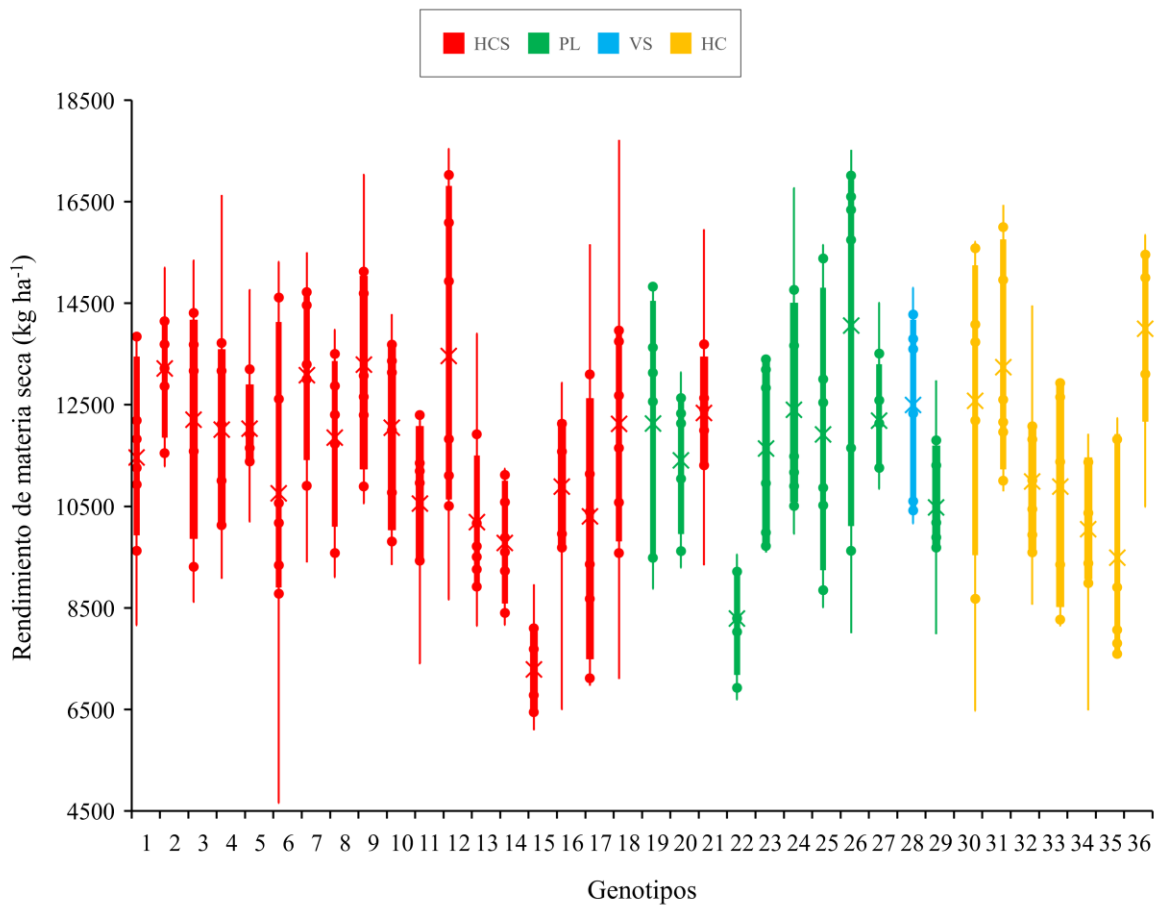


Figura 2. Distribución de rendimiento de materia seca de rastrojo en cada uno de los genotipos establecidos durante el periodo experimental. Las barras indican el rango estadístico de valores, los puntos representan los valores máximos y mínimos de cada genotipo y la 'x' indica el valor medio estadístico para cada material. Híbridos de cruce simple (HCS), polinización libre (PL), variedad sintética (VS), híbridos comerciales (HC).

La variación en rendimiento de materia seca de rastrojo, indica que entre genotipos existen diferencias genéticas posiblemente modificadas en su expresión por la interacción con su ambiente de evaluación. En esta variable hubo dominancia de los híbridos de cruce simple y se observó que sólo tres híbridos comerciales aparecieron en el grupo superior. Quedó de manifiesto que tales híbridos son seleccionados hacia un porte bajo y se le da mayor atención al rendimiento de grano. En trabajos realizados de evaluación de variedades en ambientes similares, se han encontrado también variaciones (Aceves *et al.*, 2002; Muñoz *et al.*, 2013).

El valor promedio de los cultivares evaluados en esta investigación fueron superiores a lo reportado por Muñoz *et al.* (2013) en 60%, aunque ellos tuvieron una densidad de plantas por hectárea final menor (40 000), fueron superiores también a trabajos realizados con híbridos y con líneas en ambientes tropicales en un rango de 37 a 58% (Anandan *et al.*, 2013; Vinayan *et al.*, 2013; Reddy *et al.*, 2013; Zaidi *et al.*, 2013).

Relación hoja-tallo

Los genotipos de maíz fueron diferentes ($p < 0.0001$) en la RHT y se tuvo un promedio de 1.6. El grupo que presentó mayor RHT ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 24: CPue-00157, 6: SM-16 44x64, 1: SM-16, 5x64, 25: SM-16 5x64, 8: SM-16 58x21 y 19: SM-16 166 #; con un rango de 2.3 a 2.18. Muñoz *et al.* (2013) en ambientes similares encontró variaciones entre 1.3 a 3.0.

Contenido de fibras

Los cultivares de maíz fueron diferentes ($p < 0.0001$) en concentración de FDN. El promedio fue de 75% y el grupo que presentó menores valores ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 14, 3, 7, 10, 32, 19, 16, 28, 22, 27, 25, 24, 20, 23: CPue-00316 y 29: CPue-00089, con un intervalo de 74.8 a 70%.

En la concentración de FDA también los cultivares fueron diferentes ($p < 0.0001$) alcanzando un promedio de 45.7%. El grupo que presentó la menor concentración ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 6, 20, 14, 31, 22, 32, 24, 30, 10, 18: SM-16 136x142 y 12: SM-16 64x66, con un intervalo de 43.6 a 38.4%. En cuanto a la concentración de LDA, los cultivares de maíz fueron diferentes ($p < 0.0001$) teniendo un promedio de 11%. El grupo que presentó la menor concentración de LDA ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 5, 29, 17, 20, 11, 19, 18, 32, 22, 15, 23, 13, 24: CPue-00157 y 14: SM-16 122x142, con un intervalo de 6.9 a 9.8%.

La variación que se mostró entre los cultivares evaluados indica que 58% corresponde al estrato más fibroso y 42% al estrato menos fibroso. Los resultados en FDN y FDA concuerdan con varias investigaciones (Anandan *et al.*, 2013; Vinayan *et al.*, 2013; Reddy *et al.*, 2013; Zaidi *et al.*, 2013), pero para la concentración de LDA, los resultados encontrados indican que se tuvo mayor concentración entre 50 a 60%.

Digestibilidad *in vitro* de materia seca

Los cultivares de maíz fueron diferentes ($p < 0.0001$) en DIVMS (Figura 3). El promedio fue de 49% de DIVMS y el grupo que presentó valores mayores ($p \leq 0.05$) fue el de los materiales 31, 34, 1, 17, 14, 28, 3, 15, 27, 11 y 4 (Imparable[®], SBA 404 Bárbaro[®], SM-16 5x64, SM-16 125x142, SM-16 122x142, Tropical-1[®], SM-16 21x64, SM-16 123x142, CPue-00406, SM-16 63x21 y SM-16 22x64); en un intervalo de 55.6 a 51.2%. Estos resultados concuerdan con los reportados Zaidi *et al.* (2013); Vinayan *et al.* (2013) quienes utilizaron líneas en ambientes tropicales y también con Anandan *et al.* (2013) quienes utilizaron híbridos.

Proteína cruda

La concentración de PC en los cultivares de maíz fue diferente ($p < 0.0001$), teniéndose en promedio 2.3%. El grupo que presentó la mayor PC ($p \leq 0.05$) fue el de los cultivares 1: SM-16 5x64, 2: SM-16 13x44, 3, 23, 20, 18, 14, 11, 19, 35, 25, 31, 6, 34, 10; con un rango de 3.2 a 2.45%. Se expresó variación en la concentración de PC, lo que indica que entre cultivares existen diferencias genéticas. En ambientes tropicales se han encontrado variaciones en concentración de PC, como en las investigaciones realizadas por los autores Anandan *et al.* (2013); Vinayan *et al.* (2013); Reddy *et al.* (2013); Zaidi *et al.* (2013) aunque muestran un rango de 3.1 a 10.0. Los cultivares que tuvieron mayor PC en la presente investigación fueron SM-16 5x64, SM-16 13x44 y SM-16 21x64.

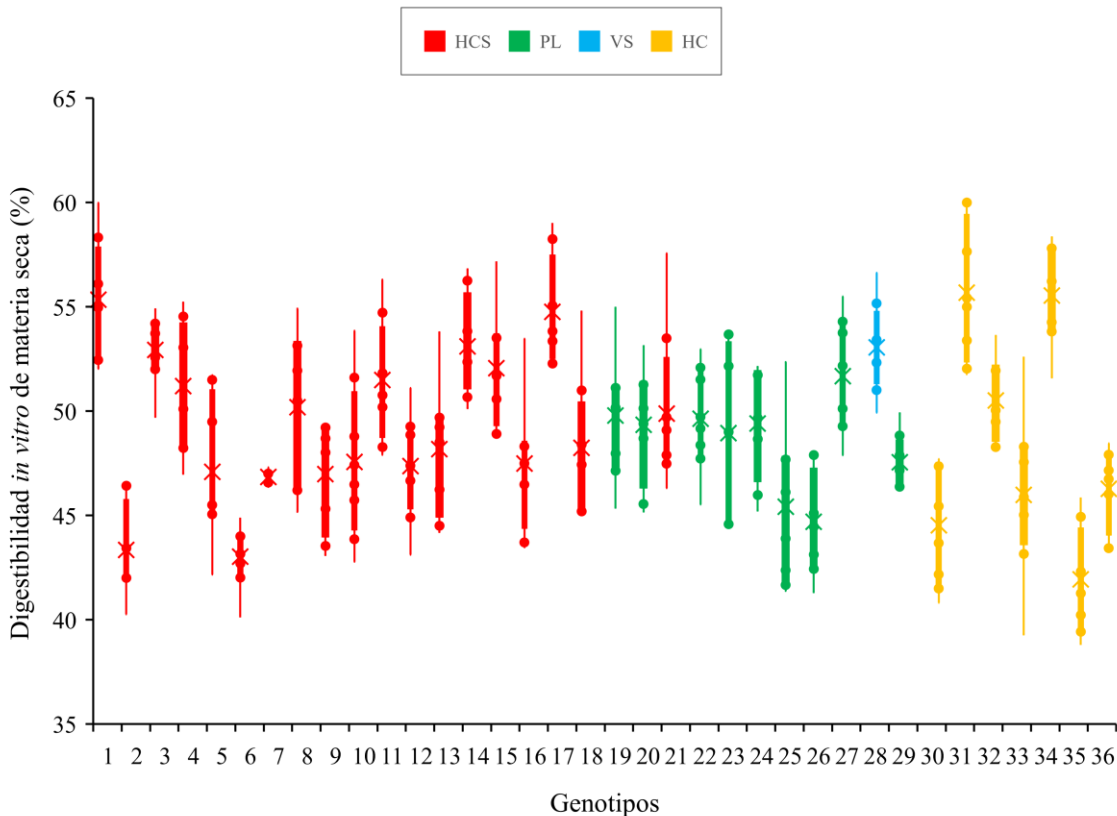


Figura 3. Porcentaje de Digestibilidad *in vitro* del rastrojo de cada uno de los genotipos establecidos durante el periodo experimental. Las barras indican el rango estadístico de valores, los puntos representan los valores máximos y mínimos de cada genotipo y la ‘x’ indica el valor medio estadístico para cada material. Híbridos de cruce simple (HCS), polinización libre (PL), variedad sintética (VS), híbridos comerciales (HC).

Aptitud para doble propósito: rendimiento útil

El rendimiento útil los cultivares de maíz fue diferente ($p < 0.0001$) como se muestra en la Figura 4. El promedio fue de 11 879 kg ha⁻¹. El grupo que presentó el mayor RUT ($p \leq 0.05$) fue el de los genotipos 30, 32, 9, 1, 12, 7, 2, 5, 8, 6, 18, 36 y 3 (HS-2[®], Águila 215W[®], SM-16 60x66, SM-16 5x64, SM-16 64x66, SM-16 53x64, SM-16 13x44, SM-16 23x60, SM-16 58x21, SM-16 44x64, SM-16 136x142, Niebla[®] y SM-16 21x64), con un intervalo de 16 047 a 12 963 kg ha⁻¹. Algunos genotipos tuvieron baja digestibilidad (HS-2[®], SM-16 44x64, SM-16 13x44) y por su producción de grano y de materia seca de rastrojo, resultaron con un RUT alto, en ellos se tendría que encontrar variación en digestibilidad para lograr aumentar su calidad como genotipos de doble propósito.

Por ejemplo, el híbrido comercial Águila 215W[®] tuvo alto rendimiento de grano (10 132 kg ha⁻¹), pero un valor medio de producción de materia seca (10 988 kg ha⁻¹) y un valor medio de digestibilidad (50.5%). Por otro lado, el híbrido de cruce simple SM-16 5x64 tuvo un rendimiento de grano superior (8 425 kg ha⁻¹), así como mayor digestibilidad (55.3%), pero requiere aumentar su producción de materia seca (11465 kg ha⁻¹). Ninguno de los genotipos evaluados reunió superioridad en las tres características, pero permiten dar mayores rendimientos útiles por unidad de superficie.

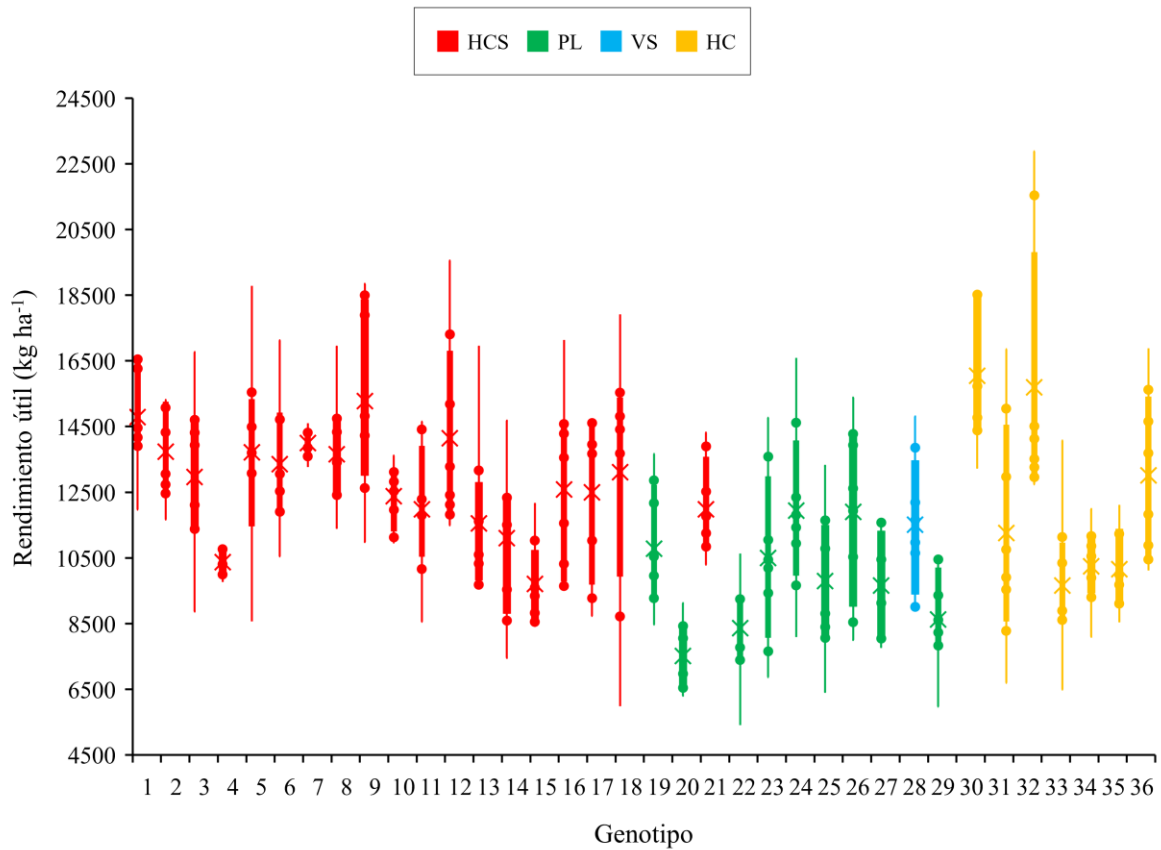


Figura 4. Concentración de rendimiento útil (RUT) de cada uno de los genotipos establecidos durante el periodo experimental. Las barras indican el rango estadístico de valores, los puntos representan los valores máximos y mínimos de cada genotipo y la 'x' indica el valor medio estadístico para cada material. Híbridos de cruce simple (HCS), polinización libre (PL), variedad sintética (VS), híbridos comerciales (HC).

Conclusiones

Los genotipos evaluados fueron diferentes en la producción de materia seca de rastrojo, su valor nutritivo y producción de grano. No necesariamente los genotipos híbridos comerciales y variedades sintéticas rinden más grano y rastrojo que los genotipos híbridos de cruce simple y de polinización libre. Tampoco los genotipos híbridos de cruce simple y de polinización libre son superiores a los híbridos comerciales y variedades sintéticas en términos de calidad nutricional.

En cuanto a la detección de genotipos para doble propósito, solamente un híbrido de cruce simple logró aparecer en los grupos sobresalientes en rendimiento de grano y digestibilidad (el SM-16 5x64). La variable 'rendimiento útil' aunque detecta materiales sobresalientes para doble propósito, llega a enmascarar a los más productivos en grano y materia seca de rastrojo que tienen baja digestibilidad.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca de maestría en ciencias y al Colegio de Postgraduados por el apoyo técnico y material.

Literatura citada

- Aceves, R. E.; Turrent, F. A.; Cortés, F. J. I. and Volke, H. V. 2002. Comportamiento agronómico del híbrido H-137 y materiales nativos de maíz en el Valle de Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4):339-347.
- Anandan, S.; Khan, A. A.; Ravi, D.; Bucha, R. M. S.; Reddy, Y. R. and Blümmel, M. 2013. Identification of a superior dual purpose maize hybrid among widely grown hybrids in South Asia and value addition to its stover through feed supplementation and feed processing. *Field Crops Res.* 153(1):52-57.
- Ankom Technology. 2011. Operator's manual. Ankom Technology, Macedon, New York.
- AOAC. 1995. The Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th (Ed.). Arlington, VA, USA. Association of Official Analytical Chemists.
- Blümmel, M.; Grings, E. and Erenstein, O. 2013. Potential for dual-purpose maize varieties to meet changing maize demands. *Synthesis. Field Crops Res.* 153(1):107-112.
- Clarke, T.; Flinn, P. C. and McGowan, A. A. 1982. Low-cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass and Forage Sci.* 37(2):147-150.
- INIFAP. 2018. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas Automatizadas. Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. <https://clima.inifap.gob.mx/Inmysr/Estaciones/ConsultaDiarios15Min?Estado=20&Estacion=41536>.
- Jones, D. I. H. and Hayward, V. M. 1975. The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *J. Sci. Food Agric.* 26(5):711-718.
- Muñoz, T. F.; Guerrero, R. J. D.; López, P. A.; Gil, M. A.; López, S. H. y Ortiz, T. E. 2013. Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 4(4):515-530.
- Peña, R. A.; González, C. F.; Núñez, H. G.; Preciado, O. R.; Terrón, I. A. y Luna, F. M. 2008. H-376, híbrido de maíz para producción de rastrojo y grano en el bajío y la región norte centro de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(1):85-87.
- Ravi, D.; Khan, A. A.; Saibutcharao, M. and Blümmel, M. 2013. A note on suitable laboratory stover quality traits for multidimensional maize improvement. *Field Crops Res.* 153(1):58-62.
- Reddy, R. Y.; Ravi, D.; Ramakrishna, R. C.; Prasad, K. V. S. V.; Zaidi, P. H.; Vinayan, M. T. and Blümmel, M. 2013. A note on the correlations between maize grain and maize stover quantitative and qualitative traits and the implications for whole maize plant optimization. *Field Crops Res.* 153(1):63-69.
- SMN-CNA. 2018. Información climatológica por estado. México.
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1981. Principios y procedimientos de estadística. Segunda (Ed.). McGraw-Hill Inc. Colombia. 236 p.
- SAS. 2008. Statistical Analysis System. SAS User's guide. Statistics, version 9.4 (Ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.
- Vinayan, M. T.; Babu, R.; Jyothisna, T.; Zaidi, P. H. and Blümmel, M. 2013. A note on potential candidate genomic regions with implications for maize stover fodder quality. *Field Crops Res.* 153(1):102-106.
- Zaidi, P. H.; Vinayan, M. T. and Blümmel, M. 2013. Genetic variability of tropical maize stover quality and the potential for genetic improvement of food-feed value in India. *Field Crops Res.* 153(1):79-85.