RENDIMIENTO DE FORRAJE, GRANO Y CALIDAD DE ENSILADO DE MAÍCES HÍBRIDOS EN EL VALLE DE TULANCINGO, MÉXICO

FORAGE AND GRAIN YIELD, AND SILAGE QUALITY OF HYBRID MAIZE IN TULANCINGO VALLEY, MEXICO

Leodan Tadeo Rodríguez-Ortega[1], Patricia Landa-Salgado[2], Mauricio Velázquez-Martínez[3], Rosendo Hernández Martínez[4], Sergio Iban Mendoza-Pedroza[5], Filogonio Jesús Hernández-Guzmán[2]* y Efraín Jehú Hernández-Reséndiz[6]

[1]Universidad Politécnica Francisco I. Madero, Francisco I. Madero, Hidalgo, México. [2]Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Agroindustrias, Chapingo, Estado de México, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental San Luis, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. [4]INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Río Bravo, Tamaulipas, México. [5]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. [6]Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

**Autor de correspondencia* (fjesushg@hotmail.com)

RESUMEN

Ante la necesidad de disponer de materiales genéticos nuevos y productivos de maíz para grano y forraje, el objetivo del presente estudio fue evaluar 12 híbridos de maíz para rendimiento de forraje, grano y calidad de ensilado en cuatro localidades del Valle de Tulancingo, Hidalgo, México. Se evaluaron siete híbridos de maíz recomendados para altitudes mayores de 2000 msnm y cinco para altitudes menores de 2000 msnm en primavera-verano 2021. El forraje de cinco híbridos se ensiló y se le determinaron vriables de calidad. El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar. Los datos se analizaron con el procedimiento GLM de SAS y prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la comparación de medias. Se usó el modelo AMMI mediante componentes principales para detectar respuestas en estabilidad en ambientes. El híbrido H443A en la localidad de Cebolletas produjo mayor rendimiento de forraje ($P \leq 0.05$) en base seca (24.0 t ha^{-1}). Hubo interacciones altamente significativas de material genético de maíz × localidad ($P \leq 0.001$). En los ensilados hubo diferencias ($P \leq 0.001$) entre híbridos en el porcentaje de fibra detergente neutro y ácido, almidón y energía neta de lactancia. La mayor producción de grano se obtuvo con el híbrido Cherokee en Cebolletas (7404 kg ha^{-1}), y fue consistente en las cuatro localidades ($P \leq 0.05$). El mayor peso de 200 granos en las cuatro localidades se observó en el híbrido H13 (62.3 g, $P \leq 0.05$), mientras el peso volumétrico mayor se obtuvo con H78 (83.2 kg hL^{-1}, $P \leq 0.05$). El rendimiento de forraje verde y seco de híbridos de maíz recomendados para altitud inferior a 2000 msnm superó a maíces recomendados para altitud superior a 2000 msnm; sin embargo, tuvieron rendimiento de grano inferior ($P \leq 0.05$). El maíz híbrido H443A es útil para ensilado, mientras que Cherokee y Caribú pueden ser más útiles para forraje y grano.

Palabras clave: Calidad de ensilado de maíz, composición morfológica, grano y forraje en maices.

SUMMARY

Given the need to have new and productive genetic materials of maize for grain and forage, the objective of this study was to evaluate the performance of 12 maize hybrids for yield of forage and grain, and quality of silage in four localities of the Tulancingo Valley, Hidalgo, Mexico. Seven maize hybrids recommended for altitudes higher than 2000 masl and five for altitudes lower than 2000 masl were evaluated in the 2021 Spring-Summer season. The forage of five maize hybrids was ensiled and the quality was determined. The experiment was established in a complete randomized blocks design. Data were analyzed with SAS GLM procedure and Tukey test ($P \leq 0.05$) for comparison of means. The AMMI model was used with principal components to detect stability response in environments. The H443A hybrid produced higher forage yield ($P \leq 0.05$) on a dry basis (24.0 t ha^{-1}) in the loclity of Cebolletas. There were highly significant maize material × location interactions ($P \leq 0.001$). In the silages there were differences ($P \leq 0.001$) between hybrids in the percentage of neutral and acid detergent fiber, starch and net lactation energy. The highest grain yield was obtained with the Cherokee hybrid in Cebolletas (7404 kg ha^{-1}) and it was consistent in all four sites ($P \leq 0.05$). The highest weight of 200 grains in the four localities was observed in the hybrid H13 (62.3 g, $P \leq 0.05$), while the largest volumetric weight was obtained with H78 (83.2 kg hL^{-1}, $P \leq 0.05$). The green and dry forage yield of maize hybrids recommended for altitudes below 2000 masl exceeded those recommended for altitudes above 2000 masl; however, they had lower grain yield ($P \leq 0.05$). The maíze hybrid H443A is useful for silage, while Cherokee and Caribu can be useful for forage and grain.

Index words: Grain and forage in maize, morphological composition, quality of maize silage.

INTRODUCCIÓN

En el año 2023 en el Distrito de Tulancingo, Hidalgo, México fueron sembradas 80,472 ha de diversos cultivos y de éstas, 40,099 ha se dedicaron al cultivo del maíz, donde 3571 ha fueron para producción de forraje (SIAP, 2024). En México, el forraje de maíz es el más importante en la alimentación del ganado, y se caracteriza por su amplia gama de variedades para cada región, por lo que es factible encontrar variaciones a nivel metabólico que pueden resultar en cambios en concentración de nutrientes (Guerrero-Rodríguez *et al*., 2023). Para elegir un material forrajero de maíz para ensilado o producción de grano es necesario considerar el ciclo biológico del cultivo (Arista-Cortes *et al*., 2018), puesto que maíces de ciclo intermedio y tardío producen cantidades de materia seca mayores en comparación con los de ciclo corto (Núñez *et al*., 2001); así

Recibido: 03 de febrero de 2024
Aceptado: 10 de octubre de 2024

DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2024.4.349

mismo, la calidad de los forrajes depende de la estructura anatómica foliar, donde la epidermis, esclerénquima, parénquima y mesófilo (el más abundante), constituyen los principales tejidos relacionados con la calidad forrajera, y por tanto, con la digestibilidad (Echenique *et al*., 2008).

Los maíces criollos en general, ante un evento de fuertes vientos se postran o se acaman (Jiménez-Cordero *et al*. 2015), lo cual dificulta la cosecha mecanizada para posteriormente ser ensilados; por tanto, sembrar maíces con resistencia el acame hace más efectivo el proceso, además de que si los suelos arcillosos no drenan, la maquinaria se atasca y se tendrían que dejar madurar las plantas hasta la producción de grano.

Ante la necesidad de encontrar maíces forrajeros y para grano para las condiciones climáticas del Valle de Tulancingo, Hidalgo, México, el objetivo del presente estudio fue evaluar 12 maíces híbridos para rendimiento de forraje y grano, composición morfológica y calidad de forraje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales

El experimento se realizó de mayo a diciembre del año 2021 en cuatro localidades del municipio de Tulancingo, Hidalgo, México: La Lagunilla, El Abra, Ahuehuetitla y Cebolletas. Las fechas de siembra fueron el 11 de mayo, 15 de mayo, 20 de mayo y 6 de junio, respectivamente. Los lugares fueron seleccionados porque en La Lagunilla (2200 msnm) la precipitación es la mejor distribuida, Cebolletas (2100 msnm) porque es un suelo profundo y franco, Ahuehuetitla (2120 msnm) y El Abra (2150 msnm) porque son localidades de cultivos en suelos arcillosos con mala distribución de lluvias. El tipo de suelo en Ahuehuetitla, El Abra y La Lagunilla es vertisol de textura arcillosa, mientras en Cebolletas es de tipo Feozem de textura franco-arcillosa. El clima en Tulancingo es templado semi-húmedo con lluvias en verano, temperatura media de 16 °C y 500 mm de precipitación anual (INEGI, 2017).

Material genético y manejo del cultivo

En cada localidad fueron sembrados 12 híbridos de maíz; de éstos, siete (H10, H12, H13, H72 también llamado Gacela, H74 llamado Venado, Caribú y H78) son recomendados para valles altos y fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Texcoco, Estado de México. Los días a floración femenina de H10, H12 y H13 son 100, 100 y 99 días después de siembra (dds) (Arellano *et al*., 2013). En Gacela, la floración en espiga al 50 % (antesis) es de 73 a 76 dds (Arellano *et al*., 2018a), en Venado de 66-76 días (Arellano *et al*., 2018b), en Caribú de 90 a 92 días (Asgrow, 2020; Com. Pers.)[1], mientras que H78 fue un híbrido experimental. Los cinco híbridos restantes, recomendados para altitudes inferiores a 2000 msnm, fueron: Cherokee (Aspros), H440 y H443A (generados por INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, México), y los híbridos H318 y QPM-374C (Quality protein maize), generados por INIFAP Bajío. Los días a floración (masculina y femenina), para Cherokee son de 90-95 dds (Portal Tecnoagrícola, 2024; Com. Pers.)[2], para H440 es de 72 dds (Reyes *et al*., 2007). En H443A la floración masculina se presenta a los 75 y la femenina a los 77 dds (Reyes *et al*., 2009). La floración femenina y masculina en H318 ocurre a los 72 dds (Ledesma-Miramontes *et al*., 2015). Las semillas utilizadas para siembra en las cuatro localidades fueron producidas en el año 2020.

Establecimiento y manejo de los ensayos

El suelo en las cuatro localidades fue preparado con barbecho y dos pasos de rastra en febrero 2021 y se sembró a capacidad de campo, la cual se logró con lluvia del temporal. La distancia entre surcos en las cuatro localidades fue de 0.80 m. Las siembras se realizaron con sembradora de precisión (Marca John Deere® Modelo 1035, Paton, Iowa. EUA). Las parcelas experimentales fueron de cuatro surcos por 8.0 m de largo y 0.8 m de ancho, la parcela útil los dos surcos centrales por 6.0 m de longitud (9.6 m^2), para evaluar por un lado el rendimiento de forraje, y en los otros surcos el rendimiento de grano. La distancia entre plantas fue de 16.6 cm aproximadamente, y se ajustó la densidad de población mediante aclareo a 75,000 plantas ha^{-1} 20 días después de siembra en las parcelas experimentales. La fertilización en las cuatro localidades fue con la fórmula 80-00-00 en la siembra, y se utilizó urea como fuente de N. El control de maleza de hoja ancha se realizó cuando las plantas tuvieron alturas aproximadas de 20 cm, con la mezcla de 2,4-D amina + atrazina líquidas a dosis de 1.0 L ha^{-1} de cada una.

Determinación de rendimiento de forraje en base seca

El estado fenológico de todos los maíces en los cuatro localidades para estimar el rendimiento del forraje en base seca (t ha^{-1}) en las parcelas útiles fue mayormente en estado lechoso-masoso. Las fechas de muestreo en El Abra, La Lagunilla, Ahuehuetitla y Cebolletas fueron el 20,

[1]**Asgrow (2020)** Maíz Caribú. Ficha técnica. Semillas Asgrow. AgriSolución. Querétaro, México. https://www.agrisolucion.com/soluciones/semillas/caribu-5/zacatecas/ (Mayo 2024).

[2]**Portal Tecnoagrícola (2024)** Cherokee Aspros.. Vademecum de Semillas y Plantas de Vivero. Portal Tecnoagrícola de Semillas. Madrid, Espana. https://www.buscador.portaltecnoagricola.com/semillas/mex/producto-semillas/9557/CHEROKEE (Mayo, 2024).

22, 24 y 27 de septiembre de 2021 (127, 124, 135 y 113 dds, respectivamente). Para determinar el rendimiento de forraje en las parcelas útiles se cortaron plantas a 10 cm sobre el suelo de manera manual e inmediatamente se pesaron en báscula (Truper modelo BAS-10, México) con capacidad de 10 kg. Para determinar el contenido de humedad se tomaron al azar 10 plantas con competencia completa por híbrido y por bloque (no en parcelas útiles), y después fueron picadas en siete trozos; posteriormente, los trozos fueron colocados en ambiente de invernadero y se homogeneizó cada 24 h con flujo de aire durante 30 días; después, fueron colocadas en bolsas de papel previamente rotuladas durante 8 h en estufa de aire forzado a 55 °C e inmediatamente se pesó en báscula digital (Marca Truper modelo 15161, México) con capacidad de 5.0 kg.

Evaluaciones de ensilaje

Para ensilar, se eligió a la localidad Cebolletas. Las plantas fueron cortadas a los 144 dds (28 de octubre de 2021) de los híbridos QPM-374C, H318, H443A, Cherokee y Caribú, los cuales no se acamaron por el huracán Grace que se presentó en agosto 13 de 2021. Los maíces acamados fueron H10, H12, H13, H72 (Gacela), H74 (Venado) y H78, mientras que H440 mostró abundante roya en las hojas. Para realizar esta actividad, se cortó a 10 cm del suelo por variedad (no en parcelas útiles). El estado fenológico para QPM-374C, H318 y H443A fue lechoso masoso (½ de "línea de leche"), para Cherokee a 1/3 de "línea de leche" y para Caribú a 2/3 de "línea de leche", de acuerdo con la clasificación de Núñez *et al*. (2005). Todas las plantas de cada parcela fueron trituradas en el lugar con ayuda de un molino de motor (Marca Bomeri modelo PD6CRMMG6.5K, México) con tamiz de 5.08 cm. Los silos fueron recipientes plásticos de 20 L donde el forraje fue prensado de manera manual y gradual hasta su totalidad y fueron sellados. Los silos fueron destapados después de 45 días y el material fue colocado sobre papel estrasa y homogeneizado cada 24 h durante 13 d en invernadero con malla sombra sobre el forraje ensilado con flujo de aire, y se pesó. Después, los ensilados por duplicado fueron enviados al laboratorio certificado AgroLab y miembro de la red mundial de laboratorios Dairy One, ubicado en Gómez Palacio, Durango, México. Las determinaciones con ayuda de NIRS (Foss modelo DS500, Hillerød, Dinamarca) fueron con base en información química de muestras de ensilados y fueron correlacionadas con las propiedades espectrales y de esta manera se calibró. Para ejecutar las determinaciones, se pesaron 180 g de muestra de cada ensilado y permaneció durante 12 h en estufa de convección (Shel Lab, Cornelius, Oregon, EUA) a 50 °C; después, se pasó por un molino pulverizador (Moontgiantgo, modelo XHH-39-WJY, Zhejiang, China) con orificio de 1 mm y en el recipiente del NIRS se colocó una muestra de 35 g.

En el NIRS se cuantificaron los porcentajes de proteína cruda (PC), digestibilidad, fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN), lignina, carbohidratos no fibrosos (CNF), almidón (%) y nutrientes digestibles totales (NDT); se estimó también la energía neta de lactancia (ENl) expresada en Mcal kg^{-1} y porcentaje de ácidos grasos totales en el extracto etéreo. La ENl se estimó a partir de la energía digestible y energía metabólica reportada por el NRC de 2001 (Gruber *et al*., 2021). La predicción matemática supone una producción de leche de 27.2 kg, raza Holstein, peso corporal de 612.3, grasa láctea de 3.7 % y proteína verdadera en leche de 3.1 %.

Evaluación de composición morfológica

La composición morfológica en los cinco híbridos que no se acamaron en la localidad de Cebolletas consistió en cortar 10 plantas de cada bloque en tres repeticiones (fuera de parcelas útiles para grano) y fueron separadas en láminas foliares, tallos, espiga, mazorca, y cuando las mazorcas perdieron humedad, el grano fue separado de manera manual del olote, y brácteas. Después, cada componente morfológico fue colocado en invernadero con flujo de aire y homogeneizado durante 30 días; posteriormente, los componentes fueron colocados en bolsas de papel e introducidos en estufa de aire forzado a 55 °C durante 8 h e inmediatamente se pesaron en una báscula Truper 15161. La relación hojas:tallos consistió en dividir el peso seco de las hojas entre el peso seco de los tallos.

Determinación de cantidad y calidad de grano

Las mazorcas de los 12 híbridos fueron cosechadas de manera manual de cada parcela útil en las cuatro localidades, actividad realizada del 5 al 8 de diciembre de 2021, fueron colocadas en invernadero con flujo de aire durante 30 días (sin cortinas de polietileno, con malla antiáfios con diámetro de poro 0.77 × 0.27 mm). El desgrane de realizó de manera manual y cada 7 d se monitoreó la humedad de los granos con un probador de humedad (LDS-1G con pantalla LCD, Pekín, China), y cuando alcanzó 12 %, se pesó en báscula Truper modelo 1551; después, se eliminaron los residuos de glumas, residuos de cosecha y material inerte, y por regla de tres se relacionó la cantidad de grano en la parcela útil con el rendimiento en 10,000 m^2 (kg ha^{-1}). Para el peso de 200 granos, se pesaron ocho réplicas al azar de 20 granos y el peso se multiplicó por 10 (Velasco *et al*., 2022); así mismo, para evaluar el peso volumétrico se tomaron ocho réplicas y el resultado se expresó en kg hL^{-1}.

Análisis de datos

Se realizó análisis de varianza con el modelo del diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los datos fueron analizados con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2009) y las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Adicionalmente, se realizó un análisis combinado de la varianza para los efectos principales de los materiales genéticos (MG) y localidades (L). Para los efectos de interacción de MG × L, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para rendimiento de materia seca de forraje y grano (t ha^{-1}), lo anterior para conocer el material genético de maíz que mejor se adapta a las condiciones de suelo y precipitación de cada localidad. Dicho modelo es denominado AMMI, constituido por parámetros aditivos y multiplicativos (Gauch y Zobel, 1996; Gollob, 1968); lo anterior consistió en realizar una gráfica (biplot) considerando los metariales genéticos de maíz y los ambientes, para observar los maíces con mayor adaptación a diferentes ambientes con base en rendimiento de grano y forraje en base seca. La temperatura media y mínima, así como la precipitación mensual y velocidad del viento fueron obtenidas de la estación meteorológica ubicada a 2 km de Ahuehuetitla, Hidalgo, México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media fue adecuada para el desarrollo de los cultivos (17.5 °C), y no hubo necesidad de riego en los cuatro localidades porque la precipitación fue suficiente (759 mm; Figura 1). La velocidad máxima del viento se presentó el 21 de agosto con el paso del huracán Grace (215 km h^{-1}), lo que provocó acame en las cuatro localidades de los híbridos H10, H12, H13, Gacela (H72), Venado (H74) en más de 80 % de las plantas. Arellano *et al*. (2013) han mencionado que estos híbridos pueden presentar acame menor del 10 % pero sin ráfagas de viento huracanadas; lo mismo ocurrió para Gacela y Venado (Arellano *et al*. 2018a; b).

Rendimiento de forraje en base seca

Se observaron diferencias ($P \leq 0.001$) en cuanto al rendimiento forrajero en base seca entre localidades (Figura 2) y se encontró interacción significativa MG × L ($P \leq 0.001$). El mayor rendimiento de forraje fue observado en el híbrido H443A en Cebolletas (24.0 t ha^{-1}; $P \leq 0.05$), y fue similar a Cherokee (23.2 t ha^{-1}). En Cebolletas se produjo mejor rendimiento porque el suelo es profundo, de textura franca y con buen drenaje. Cabe mencionar que el híbrido H443A es recomendado para altitudes menores de 1000 msnm (Reyes *et al*., 2009); por lo tanto, en la búsqueda de maíces pertinentes para el Valle de Tulancingo, Hidalgo este híbrido del INIFAP mostró el valor más alto en rendimiento forrajero en la localidad de Cebolletas ($P \leq 0.05$), mientras Cherokee y H443A lo fueron en Ahuehuetitla; en La Lagunilla, H443A y H13 fueron superiores, y por último, en El Abra, lo fue Cherokee ($P \leq 0.05$). El rendimiento de forraje en base seca de maíces recomendados para altitudes inferiores a 2000 msnm fue mayor en comparación de aquellos recomendados para valles altos ($P \leq 0.001$), lo que coincide con lo consignado por Núñez *et al*. (2001). El análisis combinado indica que cada híbrido de maíz se comporta de manera diferente en cada localidad, debido a las condiciones particulares de clima y suelo.

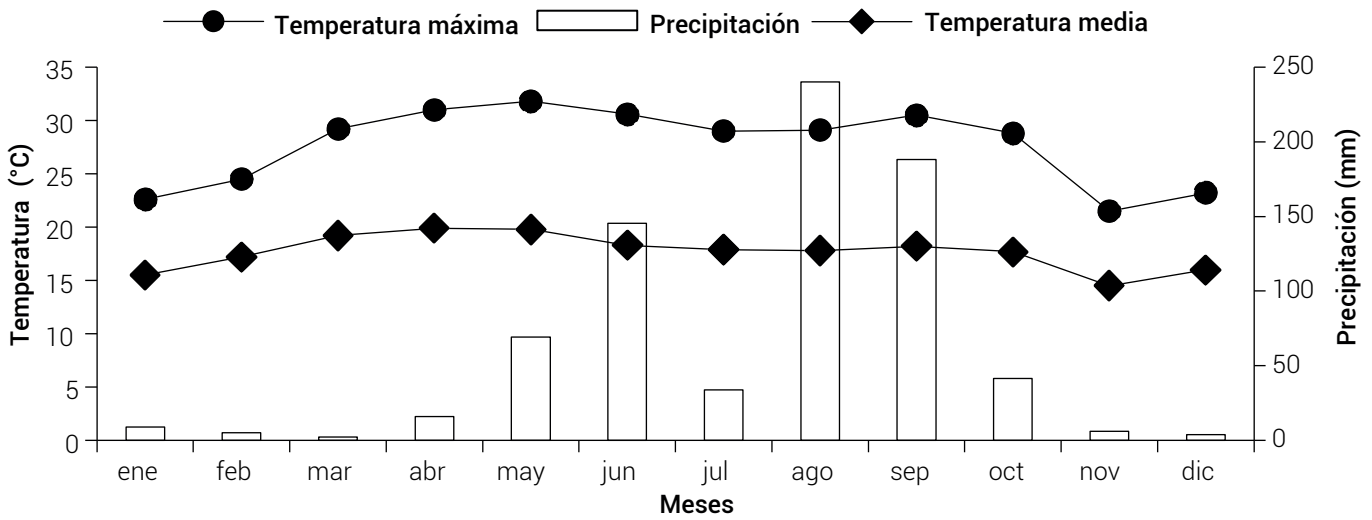


Figura 1. Precipitación y temperatura en 2021 en Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

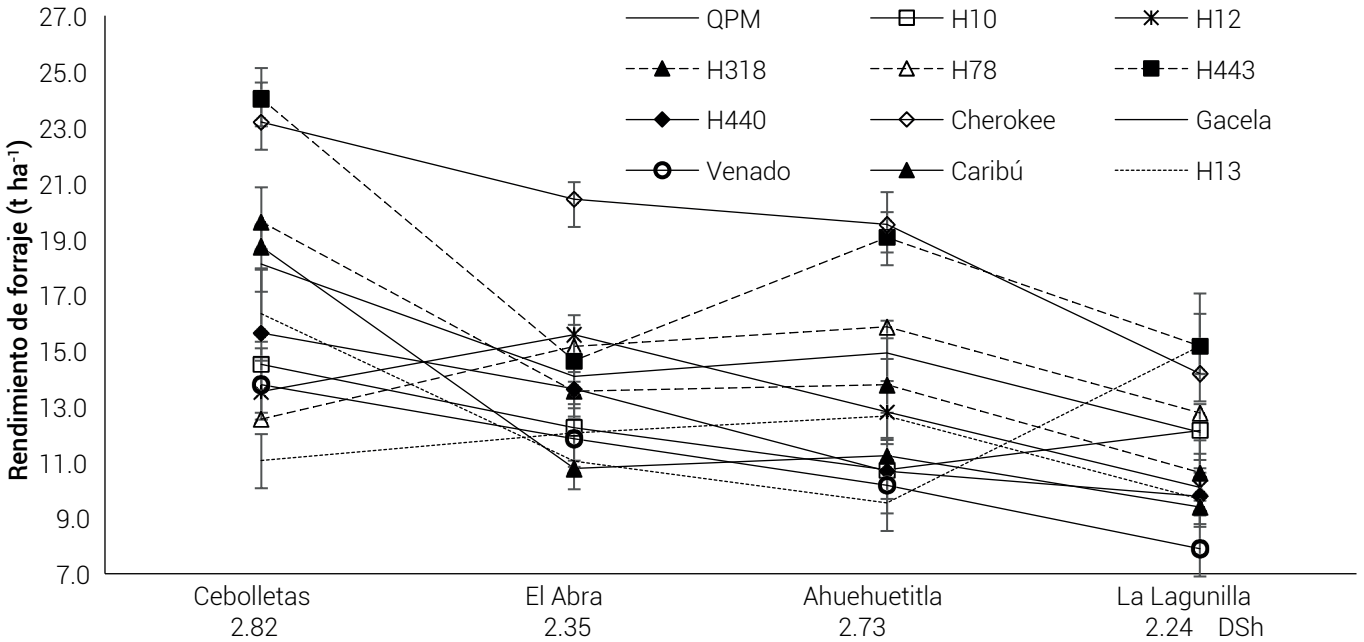


Figura 2. Rendimiento de forraje de 12 híbridos de maíz en base seca (t ha^{-1}) en cuatro localidades del Valle de Tulancingo, Hidalgo, México. DSh: diferencia significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05).

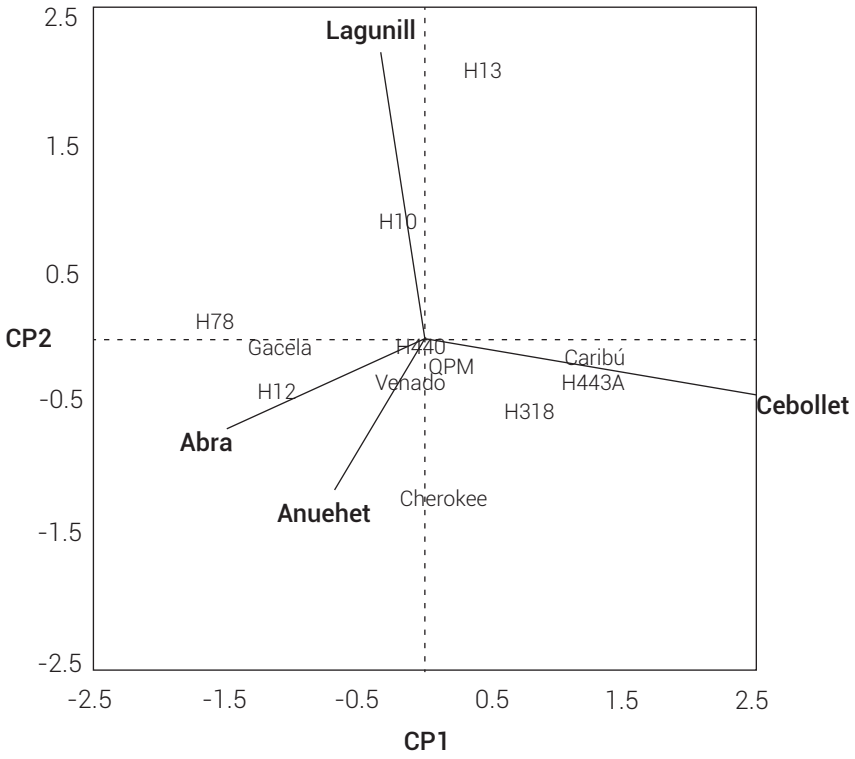


Figura 3. Componentes principales de rendimiento de forraje en base seca de 12 híbridos de maíz sembrados en cuatro localidades del Valle de Tulancingo. CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2. Lagunill: La Lagunilla, Abra: El Abra, Ahuehuet: Ahuehuetitla, Cebollet: Cebolletas.

En el biplot de la Figura 3 se observa la representación de cuan estables pueden ser los 12 híbridos de maíz en las cuatro localidades del Valle de Tulancingo en rendimieto de forraje en base seca. Los híbridos H443A, Caribú, QPM-374C, H10 y Venado fueron los más estables, lo anterior se debe a que los materiales vegetales están cerca de las coordenadas del origen; contrario a H13, el cual es el mas inestable por estar alejado y solo en el cuadrante. Los híbridos con interacción mayor entre localidades fueron H13, H78, H13 y H318 al estar más alejadas a las coordenadas del origen del CP1 y CP2. La varianza que explica el rendimiento de forraje en base seca de CP1 y CP2 fue 67.01 y 17.59 %, respectivamente. El híbrido de maíz estable y con rendimiento mayor fue H443A, se comportó de manera eficiente en cualquiera de las cuatro localidades.

Valor nutricional de ensilados

No se observaron diferencias en los porcentajes de PC, lignina, NDT y AGT del EE (P > 0.05; Cuadro 1). La PC en promedio (9.69) fue mayor que la observada en el estudio de Joaquin *et al*. (2022), quienes encontraron valores de 7.5 a 8.7 % en estado lechoso-masoso en maíces nativos: Ratón, Tuxpeño, Olotillo, Elotes occidentales y cruzas entre ellos, y a los de Núñez *et al*. (2005), quienes reportaron valores de 8.7 a 9.2 % en cuatro híbridos (SB302, 3044W, 3002W y 3028W) a 1/3 de línea de leche. Lo anterior es importante como fuente de N para multiplicación de la microbiota ruminal (Madigan *et al*., 2015). Los contenidos de lignina en los ensilados de los híbridos de maíz mostraron valores de 2.95 % en Caribú a 4.0 % en H318 y H443A, los cuales fueron menores con respecto a los encontrados por Granados-Niño *et al*. (2022) en el híbrido SB-302, para el cual reportaron 5.03 % en primavera y 4.99 % en verano, por lo que un mayor contenido de lignina influye negativamente en la digestibilidad de los ensilados en el rumen. El contenido menor de NDT fue de 54.8 % en H443A y mayor de 58.5 % en Cherokee, lo que indica que los tejidos pueden se más aprovechables por los microorganismos ruminales (Echenique *et al*., 2008; Madigan *et al*., 2015). Por otro lado, el AGT del EE se refiere a la formación de ácidos grasos en rumen del extracto etéreo, donde Cherokee tuvo el valor mayor (1.28 %); éstos son útiles para la formación de fosfolípidos, presentes en las membranas celulares y también como fuente de energía (Madigan *et al*., 2015).

En la calidad del forraje ensilado de los cinco maíces se observaron diferencias en FDN, FDA, digestibilidad a 30 h, CNF, almidón y ENl (Cuadro 1). El híbrido Caribú se distinguió por contener menor porcentaje de FDN (45.5 %) y FDA (29.0 %) (P ≤ 0.05); sin embargo, los cinco híbridos de maíz no fueron diferentes en lignina (P > 0.05). En digestibilidad se observaron diferencias, donde sobresalieron los maíces Caribú y H318 (P ≤ 0.05) al mostrar valores mayores (63.2 y 60.0 %, respectivamente), mientras en CNF, almidón y ENl, el híbrido Caribú mostró

Cuadro 1. Composición química y calidad de ensilado de cinco híbridos de maíz establecidos en primavera-verano 2021 en Cebolletas, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

Híbrido de maíz	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina (%)	Digestibilidad (%)	CNF (%)	Almidón (%)	NDT (%)	ENl (Mcal kg^{-1})	AGT del EE (%)
H318	9.8	56.2 a†	34.9 a	4.0	60.0 ab	26.7 bc	7.5 bc	56.5	1.16 ab	0.83
H443a	9.7	57.2 a	36.1 a	4.0	58.6 b	25.9 c	4.8 c	54.5	1.11 b	0.42
Caribú	9.3	45.5 b	29.0 b	2.9	63.2 a	39.7 a	13.4 a	57.0	1.27 a	0.74
QPM-374C	9.9	56.9 a	36.7 a	3.5	57.1 b	25.2 c	4.4 c	56.0	1.14 ab	0.72
Cherokee	9.7	51.3 ab	32.7 ab	3.4	57.4 b	31.5 b	10.8 ab	58.5	1.24 ab	1.28
Promedio	9.7	53.4	33.9	3.6	59.3	29.8	8.18	56.5	1.18	0.80
Significancia	NS	**	*	NS	*	**	*	NS	*	NS
DSH	0.888	6.05	5.34	1.22	4.30	5.48	5.83	5.52	0.144	1.89

†Letras minúsculas diferentes por columna indican diferencias significativas entre híbridos. NS: no significativo (P > 0.05). DSH: diferencia significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05). *: P ≤ 0.05, **: P ≤ 0.01, PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, CNF: carbohidratos no fibrosos, NDT: nutrientes digestibles totales, ENl: energía neta de lactancia. % AGT del EE: porcentaje de ácidos grasos totales en el extracto etéreo.

valores mayores, lo cual puede ser explicado por contener mayor proporción de tejidos altamente digestibles, como fue consignado por Echenique *et al*. (2008). En tanto, en H318 los contenidos de CNF (26.7 %) y almidón (7.5 %), ENl (1.16 Mcal ENl) y NDT (56.5 %) fueron similares a Caribú (P > 0.05), lo que explica similar digestibilidad de acuerdo con la distribución de los tejidos según Echenique *et al*. (2008) y Bernal-Flores *et al*. (2017). En cuanto a digestibilidad de los maíces, Núñez *et al*. (2001) y Peña *et al*. (2002) mencionaron que a mayor precocidad en maíces de ciclo corto, hay mayor digestibilidad.

Composición morfológica

La composición morfológica en los cinco híbridos de maíz ensilados en Cebolletas fue diferente (P ≤ 0.001; Cuadro 2). La mayor proporción de hojas y relación hojas:tallos se observó en H443A y QPM-374C (P ≤ 0.05). La mayor proporción de tallos ocurrió en QPM-374C, H318 y H443A (P ≤ 0.001); sin embargo, no fue determinante en disminuir la digestibilidad por ser el órgano que contiene más lignina, como fue consignado por Jung y Sheaffer (2004). La mayor proporción de grano se observó en H78, y fue similar a Cherokee, lo que repercute positivamente en mayor producción de leche (González *et al*., (2006), indicando que H443A, de ciclo largo, puede sembrarse en el Valle de Tulancingo sólo para ensilado; no obstante, es importante sembrar maíces de doble propósito (forraje y grano), ya que los suelos de los alrededores del Valle de Tulancingo son arcillosos (INEGI, 2017) y éstos tardan en drenar, lo que se complica el ensilaje por atasco de maquinaria en caso de lluvias en septiembre y octubre.

Rendimiento de grano

El rendimiento de grano de maíz en las cuatro localidades fue diferente y se observó interacción MG × L (P ≤ 0.001; Figura 4). El híbrido Cherokee rindió mayor cantidad de grano (P ≤ 0.05) en Ahuehuetitla 6282 kg ha^{-1}), El Abra (5507 kg ha^{-1}) y Cebolletas (7404 kg ha^{-1}), mientras en La Lagunilla, la cantidad mayor se observó en el híbrido Venado (4205 kg ha^{-1}). La interacción MG × L refiere que el cambio en el comportamiento del rendimiento de grano es diferente para cada sitio dadas las condiciones ambientales de cada localidad.

En Cebolletas se obtuvo en promedio mayor rendimiento de grano (3534 kg ha^{-1}) y superó (P ≤ 0.05) a Ahuehuetitla, El Abra y La Lagunilla en 1.22, 1.41 y 1.37 veces, respectivamente. Por lo anterior, Arellano *et al*. (2018a) reportaron en Gacela rendimientos en al altiplano central mexicano de 4.3 a 11 t ha^{-1} de grano, lo cual fue similar a lo obtenido en Cebolletas y La Lagunilla. Por lo tanto, los maíces de doble propósito son Cherokee y Caribú en caso de no ensilar por alta humedad en el suelo. El rendimiento promedio de grano de maíz en variedades recomendadas para sembrar en altitudes mayores de 2000 msnm superó (P < 0.001) a maíces para menos de 2000 msnm (4084 *vs*. 2635 kg ha^{-1}), lo cual indica que maíces para altitudes inferiores a 2000 msnm sembrados en el Valle de Tulancingo pueden ser destinados para ensilaje.

En el biplot de rendimiento de grano (Figura 5) se observa a H10, H12, Gacela y Venado como los híbridos más estables en los cuatro ambientes, al estar cerca de las coordenadas del origen; por lo tanto, al ser evaluados en cualquiera de las cuatro localidades tendrán un comportamiento estable. Los híbridos con mayor interacción entre localidades

Cuadro 2. Composición morfológica (%) de cinco maíces para ensilado en condiciones de temporal en primavera-verano 2021 en Cebolletas, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

Variedad	Hojas	Tallos	h:t	Brácteas	Olotes	Granos	Espiga
QPM-374C	20.9 ab†	45.5 a	0.46 ab	11.7 c	8.7 b	11.8 b	1.4 a
H318	19.4 b	48.1 a	0.40 bc	14.0 ab	7.5 c	9.6 bc	1.3 a
H443a	21.9 a	44.5 a	0.49 a	15.1 a	9.8 a	7.8 c	0.9 b
Cherokee	13.5 c	36.6 b	0.37 c	9.2 d	8.2 bc	32.2 a	0.4 c
Caribú	13.4 c	38.3 b	0.35 c	8.6 d	6.1 d	32.8 a	0.9 b
Significancia	***	***	***	***	***	***	***
DSH	1.94	2.63	0.049	1.58	0.82	2.99	0.337

†Letras minúsculas diferentes por columna indican diferencias significativas entre híbridos (***: P ≤ 0.001). DSH: diferencia significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05). h:t = proporción hojas:tallos.

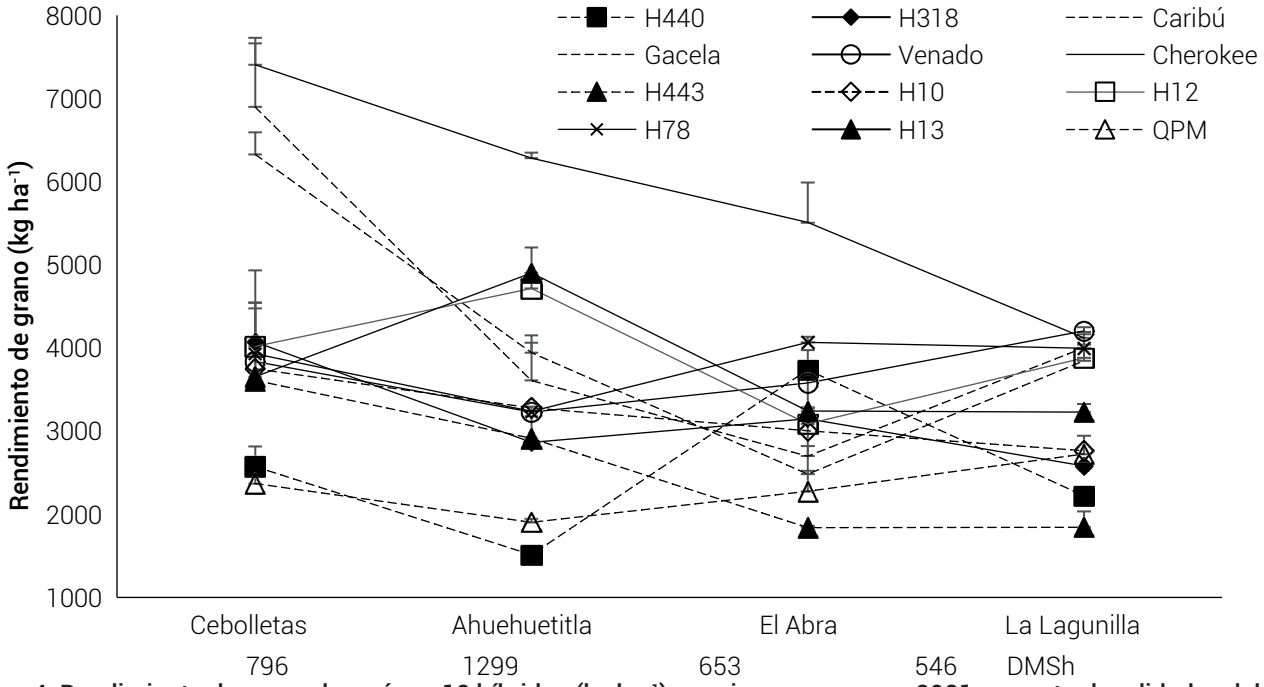


Figura 4. Rendimiento de grano de maíz en 12 híbridos (kg ha^{-1}) en primavera-verano 2021 en cuatro localidades del Valle de Tulancingo, Hidalgo, México. Las barras representan la desviación estándar. DSH: diferencia significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05).

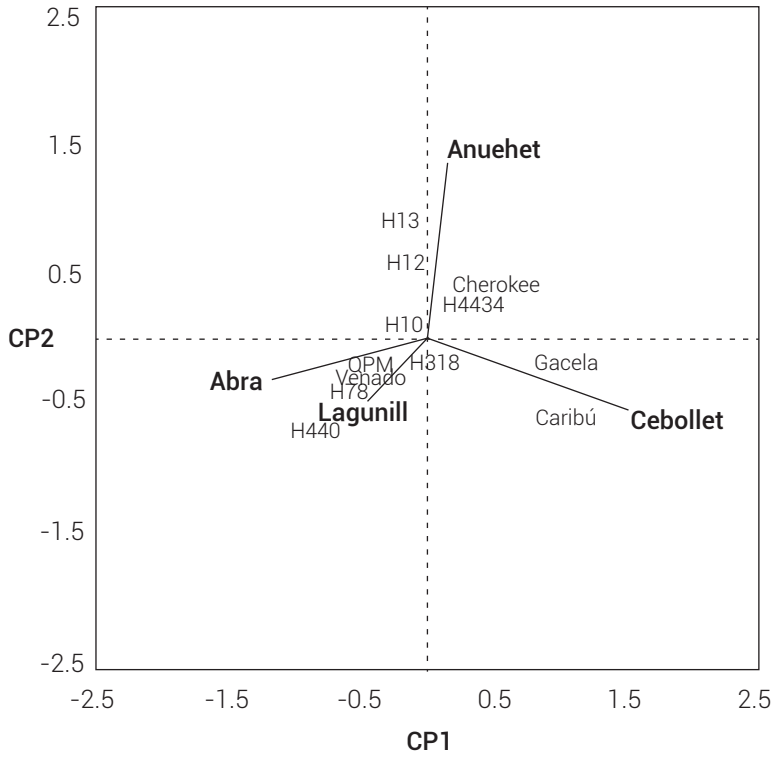


Figura 5. Componentes principales relacionados con la producción de grano de 12 híbridos de maíz establecidos en cuatro localidades del Valle de Tulancingo. CP1: componente principal 1, CP2: componente principal 2, Lagunill: La Lagunilla, Abra: El Abra, Ahuehuet: Ahuehuetitla, Cebollet: Cebolletas.

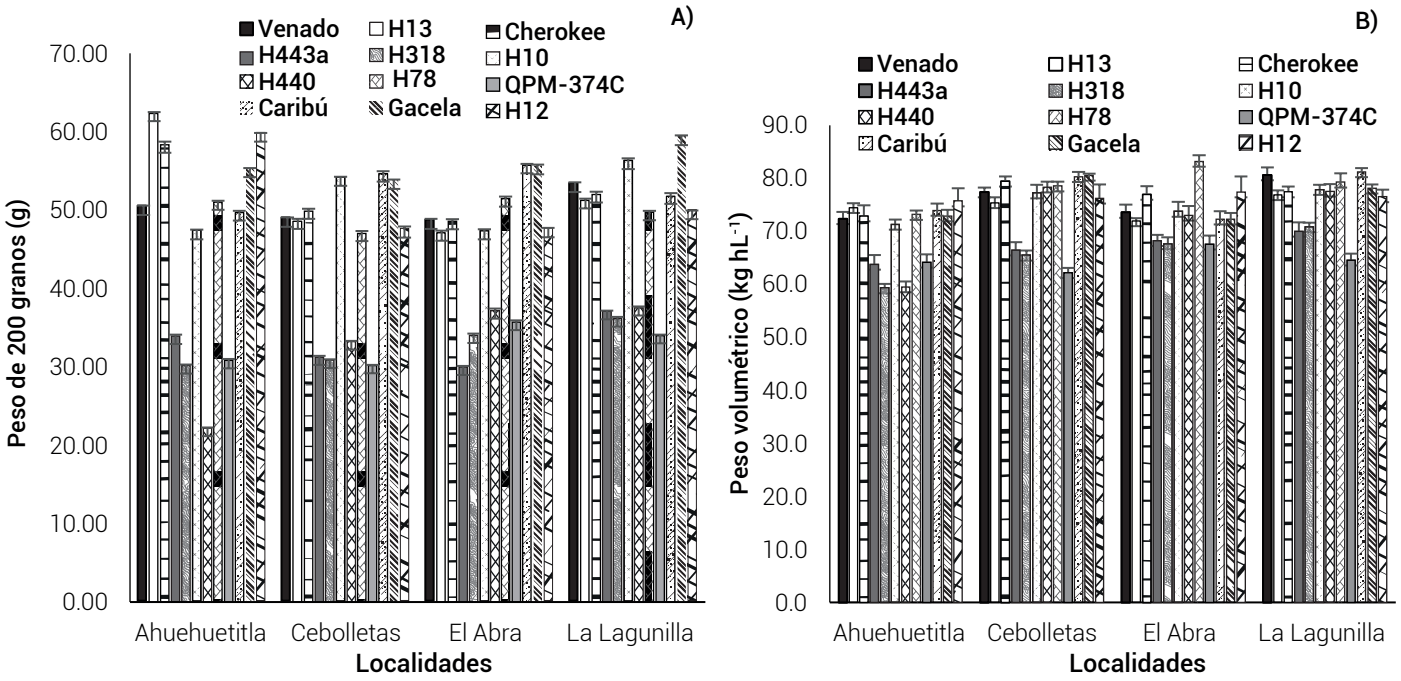


Figura 6. A) Promedio de peso de 200 granos, y B) peso volumétrico de 12 híbridos de maíz en primavera-verano 2021 en cuatro localidades del Valle de Tulancingo, Hidalgo, México.

fueon Cherokee, H443 y QPM-374C al estar más alejados a las coordenadas de origen del CP1 y CP2. La varianza que explica el rendimiento de grano de CP1 y CP2 fue 67.87 y 17.07 %, respectivamente. Los híbridos estables y con mayor rendimiento fueon Cherokee y H443A, que se comportaron de manera eficiente en cualquier de los ambientes de estudio.

Peso de 200 granos y peso volumétrico

Se observaron diferencias en el peso de 200 granos y peso volumétrico entre los híbridos de maíz en cuatro localidades del Valle de Tulancingo (P ≤ 0.001; Figura 6), así mismo, se observó interacción MG × L (P ≤ 0.001), por lo que cada maíz cambió su comportamiento de manera diferente en cada localidad dadas las condiciones ambientales y tipo de suelo para las dos variables mencionadas. No se observaron diferencias en peso de 200 granos de maíz entre localidades en Venado, Cherokee, H78, Caribú y Gacela (P > 0.05), lo que indica similar adaptación a las condiciones de cada sitio, lo que se reflejó en llenado similar en endospermo. En cuanto al peso volumétrico, éste fue mayor en H78 en El Abra (83.2 kg hL^{-1}); sin embargo, en ese sitio el rendimiento fue mayor en el híbrido Cherokee. El mayor peso de granos y peso hectolítrico indica mayor formación de almidón, ya que en Poaceae, posterior a la doble fertilización, primeramente se forma el embrión y después el endospermo (Zhang *et al*., 2017), y dependerá de la variedad de maíz para agregar almidón al endospermo (Arista-Cortes *et al*., 2018).

En el peso de 200 granos, en promedio por altitudes, las diferencias entre maíces recomendados para altitudes mayores de 2000 msnm fue superior (P ≤ 0.001) en comparación con maíces recomendados para altitudes inferiores (34.7 *vs*. 26.2 g), respectivamente. En el peso volumétrico se observó diferencia (P ≤ 0.001), donde los maíces de mayor altitud mostraron valor de 67.8 kg hL^{-1}.

CONCLUSIONES

En la evaluación de 12 híbridos de maíz en el Valle de Tulancingo, la siembra del maíz H443A es factible por presentar mayor producción de forraje en base seca en la mayoría de las localidades de estudio, así como Cherokee en una de ellas (El Abra). La mayor calidad de ensilado de cinco maíces híbridos se obtuvo con el híbrido Caribú y se debe a proporción de grano y digestibilidad superior.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. José Luis Arellano Vázquez del INIFAP-CEVAMEX por facilitar los maíces para valles altos. Así mismo, al Grupo El Quebracho de Ahuehuetitla SPR de RL por facilitar predios, invernadero para secado de grano, forraje y tecnología aquí presentada.

BIBLIOGRAFÍA

Arellano V. J. L., I. Rojas M. y G. F. Gutiérrez H. (2013) Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el Altiplano Central de México: potencial agronómico y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4:999-1011, https://doi.org/10.29312/remexca.v4i7.1141

Arellano V. J. L., J. Virgen V. e I. Rojas M. (2018a) Gacela H72: híbrido de maíz precoz para áreas de temporal y riego del Altiplano Central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:1303-1310, https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1590

Arellano V. J. L., J. Virgen V. e I. Rojas M. (2018b) Venado H74: híbrido de maíz precoz para áreas de temporal y riego del Altiplano Central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:1549-1546, https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1678

Arista-Cortes J., A. Quevedo N., B. P. Zamora M., R. Bauer M., K. Sonder y O. Lugo E. (2018) Temperatura base y grados día de desarrollo de 10 accesiones de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:1023-1033, https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1507

Bernal-Flores A., A. R. Quero-Carrillo, H. A. Zavaleta-Mancera, P. Pérez-Rodríguez, J. Valdez-Carrasco y M. E. Ortega-Cerrilla (2017) Atributos histológicos relacionados con digestibilidad en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40:299-308, https://doi.org/10.35196/rfm.2017.3.299-308

Echenique V., S. Pessino, M. Díaz, J. P. Selva, G. Luciani, D. Zappacosta, … y G. Spangenberg (2008) Aportes de la biotecnología al mejoramiento del pasto llorón (*Eragrostis curvula*). *Revista Argentina de Producción Animal* 282:147-164.

Gauch H. and R. Zobel (1996) AMMI analysis of yield trials. *In*: Genotype-by-Environment Interaction. M. S. Kang and H. G. Gauch (eds.). CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp:85-122, https://doi.org/10.1201/9781420049374.ch4

Gollob H. F. (1968) A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika* 33:73-115, https://doi.org/10.1007/BF02289676

González C. F., A. Peña R. y G. Núñez H. (2006) Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:103-107, https://doi.org/10.35196/rfm.2006.Especial_2.103

Granados-Niño J. A., J. I. Sánchez-Duarte, E. Ochoa-Martínez, K. Rodríguez-Hernández, D. G. Reta-Sánchez y M. J. López-Calderón (2022) Efecto del ciclo de producción sobre el potencial de rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Esp.28:207-217, https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3276

Gruber L., W. Knaus, A. Susenbeth, F. J. Schwarz, T. Guggenberger, B. Fischer, … and A. Obermaier (2021) Evaluation of the net energy for lactation system and estimation of the energy requirements of dairy cows based on a comprehensive analysis of feeding trials. *Archives of Animal Nutrition* 75:1-17, https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1854595

Guerrero-Rodríguez J. D., F. Muñoz-Tlahuiz, P. A. López, H. López-Sánchez, J. A. Hernández G. y A. Gil-Muñoz (2023) Digestibilidad del rastrojo de variedades locales de maíz en el altiplano Poblano-Tlaxcalteca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14:e3527, https://doi.org/10.29312/remexca.v14i29.3527

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017) Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México. 671 p.

Jiménez-Cordero Á., G. Vázquez-Carrillo, R. Rodríguez-Chávez y N. Carrizales-Mejía (2015) Propiedades de doce razas occidentales de maíz nativo (*Zea mays* L. Poaceae) para elaboración de tortilla. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* 2:519-530.

Joaquin C. S., M. Rocandio R., P. Álvarez V., F. J. Hernández G., A. G. Limas M. y J. R. Garay M. (2022) Rendimiento y valor nutritivo del forraje y ensilado de maíces nativos en condiciones subtropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13:873-881, https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.3231

Jung H. G. and C. C. Sheaffer (2004) Influence of Bt transgenes on cell wall lignification and digestibility of maize stover for silage. *Crop Science* 44:1781-1789, https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1781

Ledesma-Miramontes A., J. L. Ramírez-Díaz, V. A. Vidal-Martínez, A. Peña-Ramos, J. A. Ruiz-Corral, Y. Salinas-Moreno y R. E. Preciado-Ortiz (2015) Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México. II. Evaluación de mestizos y cruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:133-143, https://doi.org/10.35196/rfm.2015.2.133

Madigan M. T., J. M. Martinko, K. S. Bender, D. H. Buckley and D. A. Stahl (2015) Brock. Biología de los Microorganismos. Pearson Educación. Madrid, España. 1131 p.

Núñez H. G., R. Faz C., M. R. Tovar G. y A. Zavala G. (2001) Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Técnica Pecuaria en México* 39:77-88.

Núñez H. G., R. Faz C., F. González C. y A. Peña R. (2005) Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Técnica Pecuaria en México* 43:69-78.

Peña R. A., G. Núñez H. y F. González C. (2002) Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Técnica Pecuaria en México* 40:215-228.

Reyes M. C. A., M. Á. Cantú A. y G. Vázquez C. (2007) H-440, nuevo híbrido de maíz tolerante a sequía para el Noreste de México. *Agricultura Técnica en México* 33:201-204.

Reyes M. C. A., M. A. Cantú A., M. de la Garza C., G. Vázquez C. y H. Córdova O. (2009) H-443A, híbrido de maíz de grano amarillo para el noreste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:331-333, https://doi.org/10.35196/rfm.2009.4.331

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ (Mayo 2024).

SAS Institute (2009) SAS/STAT User´s Guide Version 9.2. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 5136 p.

Velasco M. S., M. Tadeo R., A. Espinosa C., J. Zaragoza E., E. Canales I. y B. Coutiño E. (2022) Rendimiento de grano, forraje y calidad forrajera de nuevos híbridos de maíz de Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13:77-87, https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2398

Zhang W., S. D. Card, W. J. Mace, M. J. Christensen, C. R. McGill and C. Matthew (2017) Defining the pathways of symbiotic *Epichloë* colonization in grass embryos with confocal microscopy. *Mycologia* 109:153-161, https://doi.org/10.1080/00275514.2016.1277469