



PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE FORRAJE DE HÍBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF FORAGE OF THREE-WAY MAIZE HYBRIDS FOR THE HIGH VALLEYS OF MEXICO

Job Zaragoza-Esparza¹, María Fernanda Medina-Fernández¹, Margarita Tadeo-Robledo¹, Alejandro Espinosa-Calderón², Consuelo López-López^{1*}, Enrique Canales-Islas³, Arturo Chávez-Gordillo¹ y Homero Alonso-Sánchez¹

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Ingeniería Agrícola, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. ³INIFAP, Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.

*Autora de correspondencia (lopez8con@gmail.com)

RESUMEN

La producción de maíces forrajeros con altos rendimientos y buena calidad es una solución favorable para contrarrestar la falta de alimentos para el ganado y altos costos de producción de forraje, debido a que el maíz utilizado como ensilado constituye del 30 al 40 % de la ración diaria utilizada para la alimentación de bovinos productores de leche. El objetivo del presente estudio fue determinar el rendimiento de forraje y valor nutricional de nueve híbridos de maíz e identificar aquellos que puedan constituir una alternativa para los productores de bovinos de leche de los Valles Altos de México. Los híbridos evaluados fueron H-47 AE, H-49 AE, H-51 AE, H-53 AE, H 61 R, Tlaoli Puma, Tsiri Puma y Atziri Puma, así como un material experimental. El experimento se estableció en tres ambientes: una fecha de siembra en la FES Cuautitlán-UNAM y dos en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, bajo un arreglo factorial que consideró como factores a los ambientes y a los genotipos. Tlaoli Puma y H-49 AE presentaron características productivas deseables con respecto a los otros híbridos evaluados, ya que tuvieron los mayores rendimientos de materia seca (23.1 y 21.0 t ha⁻¹, respectivamente), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (67.0 a 69.8 %) y proteína cruda (8.1 y 8.4 %). La cosecha en la FES Cuautitlán-UNAM a los 125 días de desarrollo produjo mayores rendimientos de materia verde y seca, menor porcentaje de proteína cruda y menores contenidos de fibra detergente ácido (FDA) con respecto a los ambientes del CEVAMEX. Los híbridos Tlaoli Puma y H-49 AE constituyen una alternativa para los productores de ganado bovino de Valles Altos de México.

Palabras clave: Maíz forrajero, digestibilidad *in vitro*, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro, rendimiento de forraje.

SUMMARY

Production of fodder maize with high yields and good quality is a favorable solution to counteract the lack of feed and high costs of forage production, since maize used as silage constitutes 30 to 40 % of the daily ration used for feeding dairy cattle. The objective of this study was to determine the forage yield and nutritional value of nine maize hybrids and identify those that could constitute an alternative for dairy cattle producers in the High Valleys of Mexico. The hybrids evaluated were H-47 AE, H-49 AE, H-51 AE, H-53 AE, H 61 R, Tlaoli Puma, Tsiri Puma and Atziri Puma, along with an experimental material. The experiment was established in three environments: one planting date at FES Cuautitlán-UNAM and two at the High Valleys Experiment

Station (CEVAMEX) of INIFAP. A complete randomized blocks experimental design with three replications was used under a factorial arrangement that considered the environments and genotypes as factors. Tlaoli Puma and H-49 AE presented desirable productive characteristics compared to the other hybrids evaluated, since they produced the highest dry matter yields (23.1 and 21.0 t ha⁻¹, respectively), *in vitro* dry matter digestibility (67.0 and 69.8 %) and crude protein (8.1 and 8.4 %). The harvest at FES Cuautitlán-UNAM at 125 days of development, produced higher yields in fresh and dry matter, lower percentage of crude protein and lower contents of acid detergent fiber (FDA) compared to the CEVAMEX environments. The Tlaoli Puma and H-49 AE hybrids are an alternative for cattle producers of the High Valleys of Mexico.

Index words: Acid detergent fiber, forage maize, forage yield, *in vitro* digestibility, neutral detergent fiber.

INTRODUCCIÓN

El maíz forrajero es un cultivo de gran importancia para la ganadería debido a que se puede suministrar en fresco, como ensilado o como rastrojo. Con el ensilaje, grandes cantidades de forraje pueden ser conservadas rápidamente, la cosecha y el proceso son menos dependientes del clima que el henificado (Grant y Adesongant, 2018); asimismo, permite disponer de alimento de buena calidad durante el invierno, debido a su alto valor energético, considerando que es una época crítica de escasez de forraje; además, aporta de 8 a 9 % de proteína (Zaragoza -Esparza *et al.*, 2019) y fibra digestible (70 %), lo que lo hace un componente importante de una ración alimenticia para el ganado, sobre todo el lechero. En las cuencas lecheras de México, el ensilado de maíz se utiliza en la alimentación de este ganado y llega a constituir del 30 al 40 % de la ración diaria para vacas en producción (González *et al.*, 2005). Algunas ventajas que presenta el maíz para producción de ensilado en comparación con otras especies son un elevado rendimiento de materia verde, de hasta 82 t ha⁻¹ (Rivas, 2018), rápido crecimiento, alto contenido de energía (1.52 ± 0.05 Mcal kg⁻¹) (Núñez, 2003), calidad uniforme,

resistencia a enfermedades foliares, se requiere de una sola cosecha y produce un rendimiento de materia seca dos veces superior al de otros cultivos (Martin *et al.*, 2017) tales como avena, triticale, cebada y trigo (Núñez, 2015).

La selección de híbridos de maíz para forraje se basa en la producción de materia seca por unidad de superficie y variables de calidad nutricional. En relación con esto último, las evaluaciones que se han realizado consideran variables de composición química como proteína cruda, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro, así como digestibilidad de la fibra detergente neutro, contenido de carbohidratos no estructurales y contenido de almidón, en adición a su valor de energía neta de lactancia (Núñez, 2015).

La producción de maíces forrajeros con altos rendimientos, buena calidad y a bajo costo es una solución favorable para contrarrestar la falta de alimentos y altos costos de producción (Rivas *et al.*, 2018); debido a lo anterior, en las zonas de los Valles Altos de México, región ubicada entre los 2200 y 2600 msnm es necesario ofrecer más y mejores variedades para los productores de maíz, por lo que se requiere evaluar híbridos de maíz que se adapten a las condiciones ambientales y que presenten características de rendimiento y calidad de forraje superiores o similares a los híbridos comerciales, con el objetivo de determinar las mejores variedades y ofrecer a los productores una alternativa tecnológica accesible.

Se realizó la presente investigación con el objetivo de determinar el rendimiento de forraje y valor nutricional de nueve híbridos de maíz en tres ambientes e identificar aquellos híbridos que puedan constituir una alternativa para los productores de Valles Altos de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales

La investigación se realizó en el ciclo primavera verano de 2016. Se establecieron tres experimentos, uno en el Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 4, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FES Cuautitlán, UNAM), ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, en las coordenadas geográficas 19°41' latitud N y 99° 11' longitud O, a una altitud de 2274 msnm. El segundo y tercero en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Santa Lucía de Prías, Coatlinchán, en el municipio de Texcoco a los 19° 27' latitud N y a 98° 51' de longitud O, a una altitud de 2240 msnm, donde se establecieron dos

experimentos con diferencia en fecha de cosecha.

Material genético

Se evaluaron nueve híbridos trilineales de grano blanco: H-47 AE, H-49 AE, H-51 AE y H-53 AE del INIFAP, junto con Tlaoli Puma, Tsiri Puma y Atziri Puma, que fueron desarrollados en la UNAM, así como los híbridos experimentales H 61 R y CSE FESC1.

Diseño y unidad experimental

La evaluación se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones bajo un arreglo factorial que consideró como factores a los ambientes (localidades/fechas de cosecha y a los genotipos (nueve híbridos). La unidad experimental consistió en un surco de 5 m de largo con una distancia entre surcos de 0.8 m.

Manejo del experimento

La siembra se realizó el 6 de junio del 2016 en la FES Cuautitlán, UNAM y el 25 de mayo de 2016 en el CEVAMEX. El terreno se preparó de forma convencional; es decir, paso de arado, dos pasos de rastra y surcado; posteriormente, se fertilizó con una dosis de 80-60-00 (N-P-K). La siembra se realizó depositando tres semillas por mata. Al siguiente día se realizó un riego rodado y a los 10 días posteriores un segundo riego; posteriormente, se realizó un aclareo, dejando 32 plantas por unidad experimental para obtener una densidad de población de 80,000 plantas ha⁻¹. La cosecha se realizó en tres fechas, correspondiendo cada una a un ambiente; el 9 de octubre; es decir, 126 días después de la siembra (dds) en la FES Cuautitlán UNAM (ambiente FES Cuautitlán, UNAM), mientras que en CEVAMEX se cosechó el 5 y 19 de octubre, a los 134 y 148 dds, respectivamente (ambientes: CEVAMEX1 y CEVAMEX2).

Variables evaluadas

Se determinó el rendimiento de materia verde (MV) en t ha⁻¹, a partir de la cosecha de todas las plantas de cada unidad experimental, a una altura de 7 a 10 cm con respecto al suelo, se pesaron y se utilizó la fórmula siguiente:

$$\text{Rendimiento de MV (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{(10,000 \text{ m}^2) \times (\text{Peso fresco, kg})}{(4 \text{ m}^2)} \times 1000$$

El rendimiento de materia seca (MS) en t ha⁻¹ se calculó a partir del rendimiento de materia verde y del porcentaje de materia seca utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento de MS (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{Porcentaje de MS}) \times (\text{Rendimiento de MV})}{100}$$

El porcentaje de materia seca se determinó con base en una muestra de forraje fresco de cada unidad experimental, con un peso aproximado de 500 g, se colocó en un horno de convección forzada (Felisa, Modelo FE 293-A, SFELIGNEO S. A. de C.V., Zapopan, Jalisco, México) a 55 °C hasta que alcanzó peso constante, se pesó y se utilizó la ecuación siguiente:

$$\text{Porcentaje de materia seca} = \frac{\text{Peso seco de la muestra (kg)}}{\text{Peso fresco de la muestra (kg)}} \times 100$$

Para determinar el porcentaje de mazorca, de cada parcela experimental se eligieron al azar cinco plantas, a las cuales se les desprendió la mazorca, y juntas se secaron en un horno de convección forzada (Felisa, Modelo FE 293-A) a 55 °C hasta alcanzar un peso constante, se determinó el peso promedio de las mazorcas y se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de mazorca} = \frac{\text{Peso seco promedio de mazorcas (kg)}}{\text{Peso seco promedio por planta (kg)}} \times 100$$

Para la floración masculina se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta la aparición del 50 % de espigas por parcela experimental, mientras que para la floración femenina se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta la aparición de estigmas con una longitud de 0.2 a 0.3 cm en el 50 % de las plantas de cada unidad experimental. Para determinar la altura de planta se midieron con estadal cinco plantas, elegidas al azar en cada unidad experimental, desde el suelo hasta el nudo superior. La altura de mazorca se determinó en las mismas plantas donde se midió la altura de planta, se registró la distancia en cm desde la base de la planta hasta el nudo con la mazorca más alta.

Se determinó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca con la técnica de Tilley y Terri (1963). Para evaluar el contenido de nitrógeno se utilizó el método de Microkjeldhal (AOAC, 2012) y se multiplicó por el factor 6.25 para estimar el contenido de proteína. La fibra detergente neutro y fibra detergente ácido fueron determinadas por el método de Goering y Van Soest (1970).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron con los procedimientos Mixed y GLM del programa SAS para Windows, versión 8 (SAS Institute, 2001), mediante un modelo correspondiente al diseño de bloques completos al azar con el arreglo factorial descrito. La prueba de comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de los análisis de varianza. Se obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para el factor de variación genotipos en las variables de rendimiento de materia verde, rendimiento de materia seca, altura de planta, altura de mazorca, floración masculina, floración femenina, porcentaje de mazorca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido. El resto de las variables no presentó diferencias estadísticas significativas. Entre los ambientes evaluados se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables, excepto para porcentaje de materia seca, que presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Los resultados anteriores indican que la diferencia entre los ambientes evaluados impactó en el comportamiento productivo y en el valor nutricional de los diferentes híbridos.

Con respecto al factor de interacción genotipo $\times$ ambiente se encontró significancia estadística ($P \leq 0.01$) en las variables rendimiento de materia verde, rendimiento de materia seca, floración femenina, porcentaje de mazorca, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y digestibilidad *in vitro* de la materia seca. Presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) floración masculina, porcentaje de materia seca y no presentaron diferencias en altura de planta, altura de mazorca y proteína cruda.

En la prueba de comparación de medias entre genotipos (Cuadro 2), los híbridos Tlaoli Puma y H-49 AE fueron superiores ($P \leq 0.05$) en rendimiento de materia verde (78.9 t ha⁻¹ y 74.6 t ha⁻¹) con respecto a los demás híbridos. El híbrido H-47 AE presentó menor rendimiento en comparación al resto de materiales evaluados y fue inferior en 66 y 57 % con respecto a Tlaoli Puma y H-49 AE, respectivamente.

El rendimiento de materia verde promedio fue de 64.5 t ha⁻¹, valor que se puede considerar alto en comparación con los resultados obtenidos en investigaciones realizadas por Núñez *et al.* (2005; 2015), quienes obtuvieron rendimientos promedio de 57.8 y 37.7 t ha⁻¹, respectivamente. En investigaciones realizadas en la misma zona en que se llevó a cabo la presente evaluación, Zaragoza-Esparza *et al.* (2019) reportaron en híbridos de maíz rendimiento de materia verde de 64.8 t ha⁻¹, valores similares a los reportados en esta investigación.

El híbrido Tlaoli Puma registró un rendimiento de materia seca de 23.1 t ha⁻¹, superior ($P \leq 0.05$) al que presentaron los híbridos H-53 AE, H 61 R, H-51 AE y H-47 AE en 35, 38, 44 y 79 %, respectivamente. Los híbridos H-49 AE, Atziri Puma, Tsíri Puma y CSE FESC1 tuvieron un rendimiento

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento y calidad de forraje en nueve híbridos de maíz evaluados en tres ambientes.

Variable	Genotipos	Bloques	Ambientes	Gen × Amb	Error	CV (%)	Media
RMV	1866.6**	14.9	370.3**	195.6**	4.4	6.8	64.5
RMS	77.6**	4.9	58.4**	17.0**	2.4	13.3	18.0
AP	1480.9**	221.9	6462.6**	400.5	23.2	9.2	252.1
AM	292.6**	179.4	443.4**	114.3	10.0	8.6	116.2
FM	12.5**	4.2	245.4**	5.6*	1.6	2.1	78.1
FF	16.4**	3.9	309.1**	5.5**	1.5	1.9	79.4
PMca	107.1**	61.7	268.1**	81.0**	5.5	13.7	39.8
PMS	8.0	6.7	23.2*	9.5	2.4	8.5	28.2
PC	0.9	0.4	18.7**	0.7	0.9	10.3	8.6
FDN	24.8**	20.9	401.1**	31.3**	2.8	5.6	49.9
FDA	21.5**	9.8	299.5**	23.0**	2.2	9.2	24.3
DIV	25.6	6.5	137.5**	55.2**	4.0	5.8	68.1

*: $P \leq 0.05$, **: $P \leq 0.01$, RMV: rendimiento de materia verde, RMS: rendimiento de materia seca, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, FM: floración masculina, FF: floración femenina, PMca: porcentaje de mazorca, PMS: porcentaje de materia seca, PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, DIVMS: digestibilidad *in vitro*, CV: coeficiente de variación.

de materia seca similar a Tlaoli Puma, con una diferencia de 2.2, 3.7, 4.7 y 5.4 t ha⁻¹. El rendimiento de materia seca promedio fue de 18.0 t ha⁻¹, valor similar al obtenido por Núñez *et al.* (2015) (15.8 t ha⁻¹) y superior a los rendimientos registrados por Elizondo-Salazar (2011), con valores de 11.0 t ha⁻¹ y 15.3 t ha⁻¹ para maíz criollo.

En lo que respecta al porcentaje de mazorca, es importante que el cultivo de maíz presente un alto porcentaje debido a que determina el valor energético de su ensilado (Núñez *et al.*, 2015). Los híbridos Atziri Puma y H-47 AE presentaron un alto valor (43.7 %) y fueron superiores en 32 % a H 61 R. Los demás híbridos presentaron valores similares, variando de 36 a 42 %, el promedio general fue de 39.8 %, el cual se considera un valor aceptable. Zaragoza-Esparza *et al.* (2019) obtuvieron valores promedio para porcentaje de mazorca semejantes a los obtenidos en la presente investigación (42 %).

Los híbridos H-49 AE y Tlaoli Puma presentaron las plantas más altas (272 y 271 cm, respectivamente), fueron superiores ($P \leq 0.05$) en 17 y 16 % con respecto al híbrido H-47 AE y no tuvieron diferencias con los demás híbridos evaluados. Estos materiales presentaron mayor altura que los genotipos nativos subtropicales y tropicales de Nayarit, Veracruz e Hidalgo evaluados por Rivas-Jacobo *et al.* (2020), quienes registraron valores para los mejores materiales de 241.8 y 231.9 cm, respectivamente. La altura promedio de los híbridos evaluados fue de 252

cm, superior a la registrada por Rivas *et al.* (2019) en 12 híbridos trilineales evaluados en Nayarit, México, que fue de 169 cm.

En porcentaje de materia seca no se presentaron diferencias entre los diferentes genotipos evaluados ($P \leq 0.05$), los valores variaron entre 27.5 y 29.2 %, con una media de 28.2 %. Estos valores pueden considerarse aceptables, pues para el proceso de fermentación del ensilado no se consideran deseables valores inferiores al 25 %, ya que afectan el proceso de fermentación por el alto contenido de agua, mientras que valores de materia seca superiores a 35 % dificultan la compactación del material por el bajo contenido de agua, lo que provoca que no se elimine totalmente el oxígeno y, en consecuencia, se presenten fermentaciones pútridas de tipo butírico, que disminuyen la calidad del ensilado (Zardin *et al.*, 2017).

Para el contenido de proteína cruda no existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre híbridos, los valores variaron entre 8.1 y 9.1 % y presentaron una media general de 8.6 %. Estos valores son mayores a los reportados por Núñez *et al.* (2015) en cuatro híbridos de maíz de la empresa Pioneer en la Región Lagunera estado de Coahuila, México, que variaron entre 6.8 y 8.2 %, con una media de 7.2 %.

Para fibra detergente neutro, el híbrido H 61 R presentó el valor más bajo (47.5 %), inferior en 10 % con respecto a

Cuadro 2. Comparación de medias entre nueve híbridos de maíz de Valles Altos de México considerando la media de tres ambientes. Ciclo primavera-verano 2016.

Genotipo	RMV	RMS	PMca	FM	FF	AP	AM
	(t ha ⁻¹)		(%)	(días)		(cm)	
Tlaoli Puma	78.9 a	23.1 a	41.8 a	77 b	78 b	271 a	114 a
H-49 AE	74.6 ab	21 ab	38.6 ab	77 b	78 b	273 a	125 a
CSE FESC 1	70.8 bc	17.7 bc	40.4 ab	78 b	80 b	255 ab	112 a
Atziri Puma	68.8 bc	19.4 ac	43.6 a	78 b	79 b	251 ab	120 a
Tsíri Puma	64.7 dc	18.4 bc	35.8 ab	78 b	79 b	247 ab	111 a
H-53 AE	60.2 de	17.1 c	40.6 ab	81 a	83 a	249 ab	118 a
H 61 R	57.7 e	16.7 c	33.2 b	77 b	79 b	243 ab	113 a
H-51 AE	57.6 e	16 cd	40.7 ab	78 b	79 b	248 ab	124 a
H-47 AE	47.5 f	12.9 d	43.7 a	78 b	80 b	233 b	110 a
D.S.H. (0.05)	6.8	3.7	8.5	2.4	2.4	35.4	15.3

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). RMV: rendimiento de materia verde, RMS: rendimiento de materia seca, PMca: porcentaje de mazorca, FM: floración masculina, FF: floración femenina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca.

Atziri Puma, los demás híbridos no mostraron diferencias ($P \leq 0.05$), con valores entre 48.0 y 52.4 % y una media de 49.9 %. Juráček *et al.* (2012) registraron para fibra detergente neutro valores de 45.9 % en maíces de la región oriental de Eslovaquia. Para fibra detergente ácido tampoco se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre híbridos. La media obtenida fue de 24.3 %, valor similar al reportado por Juráček *et al.* (2012) de 24.7% en maíces de Europa oriental y a los obtenidos por Núñez *et al.* (2015) en híbridos de una empresa evaluados en la región Lagunera, quienes registraron una media de 25 % y una variación de 16.6 a 30.9 %. Los valores de fibras detergente

neutro y fibra detergente ácido no presentaron diferencias entre los híbridos evaluados; sin embargo, éstos fueron bajos, lo que es una característica deseable en el forraje, ya que permite un mayor aprovechamiento del alimento por parte del animal.

Para digestibilidad *in vitro* de la materia seca no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$), la media obtenida para esta variable fue de 68.1 %, por lo que se considera un valor alto si lo se compara con el registrado por Sánchez e Hidalgo-Ardón (2018), quienes obtuvieron porcentajes que variaron de 60.6 a 65.6 % en nueve híbridos

Cuadro 3. Comparación de medias de variables de valor nutricional en nueve híbridos de maíz evaluados en tres ambientes de Valles Altos de México. Ciclo primavera - verano 2016.

Genotipo	MS	PC	FDN	FDA	DIV
			%		
H-49 AE	28.1 a	8.4 a	48.0 ab	22.3 b	69.8 a
CSE FESC 1	26.9 a	8.7 a	48.2 ab	23.1 ab	68.7 a
Atziri Puma	28.0 a	8.4 a	52.4 a	26.6 a	68.5 a
Tlaoli Puma	29.2 a	8.1 a	51.4 ab	25.3 ab	67.0 a
Tsíri Puma	29.5 a	8.4 a	50.5 ab	24.8 ab	69.3 a
H-53 AE	28.4 a	8.6 a	50.6 ab	25.3 ab	66.1 a
H-51 AE	27.7 a	9.1 a	50.1 ab	24.1 ab	67.7 a
H 61 R	28.7 a	8.8 a	47.5 b	22.0 b	70.5 a
H-47 AE	27.5 a	8.9 a	50.9 ab	25.3 ab	65.5 a
DSH (0.05)	3.7	1.4	4.4	3.5	6.2

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). MS: materia seca, PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, DIV: digestibilidad *in vitro*, DSH: diferencia significativa honesta.

de maíz del CIMMYT evaluados en la zona alta lechera de Cartago, Costa Rica. La mayor o menor digestibilidad *in vitro* de la materia seca en un ensilado es resultado de la digestibilidad de la materia seca y de los contenidos de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.

A mayor digestibilidad se reduce el contenido de fibra detergente neutro y el de fibra detergente ácido y se incrementa la disponibilidad de nutrimentos a nivel ruminal del ensilado; además, se incrementa el consumo de alimento, se maximiza la síntesis de proteína microbiana y, en consecuencia, se obtiene mayor producción animal, ya sea en leche o ganancia de peso (Núñez *et al.*, 2015).

Al realizar la prueba de comparación de medias en los tres ambientes evaluados (Cuadro 4), se encontró en la FES Cuautitlán, UNAM un rendimiento de materia verde superior ($P \leq 0.05$) en 7.0 y 12.1 % a los rendimientos obtenidos en CEVAMEX tanto en la primera como en la segunda fecha de cosecha. Estos resultados pueden deberse a las condiciones climáticas de los dos ambientes, en FES Cuautitlán, UNAM la siembra se llevó a cabo el 6 de junio, pocos días antes de que iniciara el máximo periodo de precipitación del año, lo que favoreció el rápido desarrollo del cultivo, mientras que en CEVAMEX la siembra se realizó el 25 de mayo, cuando faltaban 33 días para el inicio del máximo periodo de precipitación en esa localidad, lo que pudo establecerse como una limitante para el desarrollo inicial del cultivo.

El rendimiento de materia seca fue superior ($P \leq 0.05$) en el ambiente de la FES Cuautitlán, UNAM con respecto al obtenido en las dos fechas de cosecha en CEVAMEX, en 11.3 y 17.3 %, para la primera y segunda fecha de cosecha, respectivamente.

Para las floraciones femenina y masculina se encontraron diferencias entre ambientes ($P \leq 0.05$), lo mismo ocurrió para altura de planta y altura de mazorca. El porcentaje de mazorca obtenido en la FES Cuautitlán, UNAM fue superior ($P \leq 0.05$) en 10.3 y 24.2 % con respecto a los registrados en CEVAMEX1 y CEVAMEX2. Los porcentajes de mazorca variaron de 36.3 a 45.1 % y fueron menores a los registrados en la Comarca Lagunera por Núñez *et al.* (2015) de 37.80 % a 57.69 % con una media de 48.6 %.

La prueba de comparación de medias entre ambientes para las variables de valor nutricional (Cuadro 5) evidenció diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en porcentaje de materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido. En FES Cuautitlán, UNAM se presentó un porcentaje de materia seca superior ($P \leq 0.05$) en 15 % con respecto a CEVAMEX1. Este resultado se relaciona positivamente con los resultados obtenidos para

rendimiento de materia seca.

El porcentaje de proteína cruda en CEVAMEX1, a los 134 días de crecimiento, fue mayor ($P \leq 0.05$) con respecto a CEVAMEX2 y a la FES Cuautitlán, UNAM; lo anterior pudo ser consecuencia de que para esta fecha el cultivo permaneció un mayor número de días en campo (ocho) con respecto a la FES Cuautitlán, UNAM, permitiendo un mayor desarrollo del grano y, en consecuencia, mayor acumulación de proteína; en contraste, en CEVAMEX el contenido de proteína cruda disminuyó en 0.7 % en la segunda fecha de cosecha con respecto a la primera, lo que puede atribuirse a que a los 134 días el cultivo alcanzó la madurez óptima para cosecha, lo que provocó mayores contenidos de proteína, mientras que a los 148 días empezaron a disminuir, lo que incrementó el contenido estructural de la planta, limitando su disponibilidad. En estudios realizados por Núñez *et al.* (2015) en híbridos en la región Lagunera se obtuvieron valores de proteína de 6.8 a 8.2 %, los cuales son inferiores a los obtenidos en esta investigación (7.7 a 9.4 %).

En CEVAMEX1 se obtuvieron valores más bajos para fibra detergente neutro y para fibra detergente ácido, menores en 15.8 y 30.0 % con respecto a CEVAMEX2 y menores en 4.3 % y 9.3 % con respecto a FES Cuautitlán, UNAM. Estos valores bajos de fibras se asociaron con una mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca. Los valores de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido obtenidos en la presente investigación variaron de 46.8 a 54.2 % en fibra detergente neutro y de 21.5 a 28.0 % en fibra detergente ácido, los cuales se consideran dentro de los intervalos que presenta un ensilado de maíz de alta calidad forrajera. Al respecto, Núñez *et al.* (2015) indicaron que el valor óptimo de fibra detergente neutro en un ensilado de maíz debe ser menor de 50 %, mientras que el contenido de fibra detergente ácido debe ser en promedio de 26 % (Kolver *et al.*, 2001).

La comparación de medias para la variable digestibilidad *in vitro* de la materia seca evidenció diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la FES Cuautitlán, UNAM y CEVAMEX1 (69.6 y 69.3 %), con respecto a CEVAMEX2 (65.5 %), coincidiendo este comportamiento con el mayor porcentaje de mazorca, factor asociado comúnmente con la digestibilidad (Núñez, 2003) en 18 híbridos comerciales de maíz en la región Lagunera del estado de Coahuila, México. Lo anterior es consecuencia de la mayor madurez a la que fueron cosechados los híbridos de maíz, ya que conforme incrementó la madurez se redujo la digestibilidad. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Lynch *et al.* (2013) en los cultivares de maíz Tassilo, Andante y KXA 7211 evaluados en Irlanda, quienes reportaron menor digestibilidad con cosechas tardías.

Cuadro 4. Comparación de medias en tres ambientes considerando la media de nueve híbridos evaluados. Ciclo primavera-verano 2016.

Ambiente	RMV (t ha ⁻¹)	RMS) (t ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	Mazorca %
FES Cuautitlán, UNAM	68.5 a	19.7 a	81.2 a	83 a	249.7 a	113 a	45.1 a
CEVAMEX1	64 b	17.7 b	77.7 b	78.8 b	251.4 a	117 a	40.9 b
CEVAMEX2	61.1 b	16.8 b	75.2 c	76.3 c	255.3 a	118 a	36.3 c
DSH (0.05)	2.9	1.6	1.0	1.0	15.2	6.6	3.6

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). RMV: rendimiento de materia verde, RMS: rendimiento de materia seca, FM: floración masculina, FF: floración femenina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, DSH: diferencia significativa honesta.

Cuadro 5. Comparación de medias de nueve híbridos para las variables de calidad de forraje evaluados en tres ambientes. Ciclo primavera-verano 2016.

Ambiente	MS	PC	FDN %	FDA	DIV
FES Cuautitlán, UNAM	29.2 a	7.7 c	48.8 b	23.5 b	69.6 a
CEVAMEX1	27.9 ab	9.4 a	46.8 c	21.5 c	69.3 a
CEVAMEX2	27.4 b	8.7 b	54.2 a	28 a	65.5 b
DSH (0.05)	1.6	0.6	1.9	1.5	2.6

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). MS: materia seca, PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, DIV: digestibilidad *in vitro*, DSH: diferencia significativa honesta.

CONCLUSIONES

Los híbridos Tlaoli Puma y H-49 AE presentaron mayor productividad y calidad, constituyendo una alternativa para los productores de ganado de los Valles Altos de México. Los híbridos bajo condiciones de punta de riego deben ser cosechados a los 125 o 126 días para obtener mayores rendimientos de forraje, tanto en materia seca como en materia verde, un mayor porcentaje de mazorca y menores contenidos de fibra detergente ácido, características que impactan sobre la calidad de un ensilado, lo cual se vería reflejado en la producción del ganado.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se llevó a cabo con financiamiento del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) clave: IT201618, de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), UNAM.

BIBLIOGRAFÍA

AOAC, Association of Analytical Chemists (2012) Official Methods of Analysis of AOAC International. Vol. 1. 19th edition. Association of Analytical Chemists. Washington, D.C. USA. 672 p.

- Elizondo-Salazar J. A. (2011) Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje. *Agronomía Costarricense* 35:105-111, <https://doi.org/10.15517/RAC.V35I2.6683>
- Goering H. and P. Van Soest (1970) Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications). Agricultural Handbook No. 379. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. Washington, DC. 76 p.
- González C. F., A. Peña R., G. Núñez H. y C. A. Jiménez G. (2005) Efecto de la densidad y altura de corte en el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:393-397.
- Grant J. R. and A. Adesogant (2018) Journal of Dairy Science Silage Special Issue: Introduction. *Journal of Dairy Science* 101:3935-3936, <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14630>
- Juráček M., D. Bíro, M. Šimko, B. Gálik and M. Rolinec (2012) The quality of maize silages from west Region of Slovakia. *Journal of Central European Agriculture* 13:695-703, <https://doi.org/10.5513/JCEA01/13.4.1114>
- Kolver E. S., J. R. Roche, D. Miller and R. Densley (2001) Maize silage for dairy cows. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 63:195-201, <https://doi.org/10.33584/jnzs.2001.63.2407>
- Lynch J. P., P. O'Kiely and E. M. Doyle (2013) Yield, nutritive value and ensilage characteristics of whole-crop maize, and of the separated cob and stover components – nitrogen, harvest date and cultivar effects. *The Journal of Agricultural Science* 151:347-367, <https://doi.org/10.1017/S0021859612000342>
- Martin N. P., M. P. Russelle, J. M. Powell, C. J. Sniffen, S. I. Smith, J. M. Tricarico and R. J. Grant (2017) Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry. *Journal of Dairy Science* 100:9479-9494, <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13080>
- Núñez H. G., A. Anaya S., R. Faz C. y H. A. Serrato M. (2015) Híbridos de maíz forrajero con alto potencial de producción de leche de bovino. *Agrofaz* 15:47-56.
- Núñez H. G., C. Faz R., 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.
- Núñez H. G., E. Contreras G. y C. Faz R. (2003) Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Técnica Pecuaria en México* 41:37-48.
- Rivas J. M. A., A. Carballo C., A. R. Quero C., A. Hernández G., H. Vaquera H., E. C. Rivas Z., ... y E. J. Rivas Z. (2018) Comportamiento productivo de doce híbridos trilineales de maíz para forraje en una región tropical seca. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 21:579-586.
- Rivas-Jacobo M., G. Ballesteros-Rodea, R. Lepe-Aguilar, A. Zaragoza-Bastida, C. Ibarra-Gudiño y N. Rivero-Pérez (2020) Respuesta productiva de maíces subtropicales y tropicales con fines forrajeros en una región semiárida. *Abanico Agroforestal* 2:1-13, <https://doi.org/10.37114/abaagrof/2020.6>
- Sánchez L. W. y C. Hidalgo-Ardón (2018) Potencial de forraje de nueve híbridos de maíz en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 29:153-164, <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27732>
- SAS Institute (2001) SAS User's Guide. Release 8.1. 6th edition. SAS Institute, Inc. Cary, North Carolina, USA. 956 p.
- Tilley J. M. A. and R. A. Terry (1963) A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* 18:104-111, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>
- Zaragoza-Esparza J., M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, C. López-López, J. C. García-Espinosa, B. Zamudio-González, ... y F. Rosado-Núñez (2019) Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:101-111, <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>
- Zardin P. B., J. P. Velho, C. C. Jobim, D. R. M. Alessio, I. M. P. Haygert-Velho, G. M. da Conceição, and P. S. G. Almeida (2017) Chemical composition of corn silage produced by scientific studies in Brazil – A meta-analysis. *Semina: Ciências Agrárias* 38:503-512, <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n1p503>