

Producción y calidad del forraje de híbridos de maíz amarillo para ensilaje

Tania Copado Alvarado¹ (<https://orcid.org/0009-0000-2064-9200>)

José Luis Macías García¹ (<https://orcid.org/0000-0001-6127-0635>)

Rocío Hernández Díaz^{1*} (<https://orcid.org/0009-0001-2777-9662>)

Rebeca Zecua Nájera¹ (<https://orcid.org/0009-0007-2724-7803>)

Fleider Leiser Peña Escalona² (<https://orcid.org/0000-0002-1490-0734>)

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala, km 7.5, Carretera Federal San Martín Texmelucan-Tlaxcala, San Diego Xocoyucan, Tlaxcala, México. C.P. 90122.

²Universidad Politécnica de Texcoco, Facultad de Comercio Internacional y Aduanas, Texcoco de Mora, Estado de México. México. C.P. 56250

*Autor de correspondencia: rous07050@gmail.com

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.), es un cultivo de importancia en la alimentación animal que se utiliza en diversas formas, desde grano, forraje verde hidropónico, forraje fresco, ensilado o rastrojo. El objetivo de esta investigación fue analizar la capacidad forrajera de plantas de doce híbridos de maíz amarillo mediante su morfometría, rendimiento y caracterización química del ensilaje en San Diego Xocoyucan, Tlaxcala. Se registraron variables Agronómicas, Morfométricas y Productivas de las plantas para calificar su composición química y fermentativa, y así, seleccionar los híbridos a ensilar. A los datos obtenidos se les realizó la prueba de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se realizó un análisis de varianza con un diseño completamente al azar; y se hizo un análisis de correlación para los componentes productivos de la planta. El híbrido HAT-58 sobresalió en altura de la planta, área foliar, longitud y diámetro del tallo. El mayor rendimiento de materia seca (MS) lo presentaron HAT-60 y HAT-56 con 45.02 y 43.7 t ha⁻¹, respectivamente. La densidad de plantas por hectárea presentó diferencias significativas, sin afectar numéricamente la composición química de los híbridos. La proteína cruda presentó valores de 9.1 a 9.8 %, la fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), oscilaron entre 41.9 a 55,1 % y de 26.6 a 35.3 %, respectivamente, la ceniza se mantuvo en alrededor del 8 %. Se concluyó que con la variabilidad existente en los maíces amarillos cinco híbridos tienen potencial para ensilar.

Palabras claves: componentes morfológicos, planta forrajera, área foliar, composición química.

Recibido: 12 de mayo de 2026

Aceptación: 6 de julio de 2026

Introducción

La diversidad genética del maíz es amplia prácticamente en cualquiera de las regiones de México, por tanto, es factible encontrar variaciones a nivel morfológico, metabólico y fisiológico que se reflejen en los componentes del valor nutricional (Guerrero-Rodríguez et al., 2023). Una de las maneras de conservar el forraje de maíz es por medio del ensilado, un proceso de fermentación anaeróbica que requiere un tamaño de partícula pequeño que permite la compactación y sellado para una buena fermentación y, el desarrollo de bacterias ácido lácticas para obtener alta calidad de este alimento (Neumann et al., 2024). La calidad bromatológica es de suma importancia, debido a que interviene en aspectos relacionados con la nutrición de los animales y la productividad de los mismos (Castillo et al., 2022). Existe una diferenciación en cuanto al contenido de proteína, si se ofrece en forraje fresco aporta en promedio 7.8 %, mientras que en ensilado se puede incrementar a 8.2 % por los aditivos que se incluyen (Joaquín-Cancino et al., 2022).

Los productores de leche que demandan alimentos de alta calidad exigen mejorar el valor nutricional de los forrajes, por lo que se han incorporado diversos avances tecnológicos que consideran el rendimiento espacial, las características nutricionales, hasta modificaciones en procesadores y equipos que permiten la elaboración de ensilaje a partir de diversos componentes vegetales de la planta de maíz, ya sean enteros o fraccionados (Ferraretto, Shaver & Luck, 2018). El rendimiento espacial implica medir densidad de plantas y la relación hoja planta, tallo planta y elote planta, lo cual impacta en el rendimiento de materia fresca y seca; así como en la calidad bromatológica del ensilaje. Por lo anterior el objetivo fue analizar la capacidad forrajera de plantas de doce híbridos de maíz amarillo, mediante su morfometría, rendimiento y caracterización química del ensilaje.

Enfoque metodológico

Establecimiento del cultivo

El experimento se realizó en el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT) ubicado en las coordenadas 19°18'26.00" latitud N y 98°22'22.00" longitud O en la localidad de San Diego Xocoyucan, Ixtacuixtla, Tlaxcala, a una altitud de 2,220 m. s. n. m. Con una temperatura promedio anual mínima y máxima de 6.1-24.6 °C; y una precipitación promedio anual mínima y máxima 7.9-131.6 mm (Ixtacuixtla.gob.mx, 2023). La siembra se realizó en el ciclo P/V 2023, en surcos de 0.90 m de ancho a una densidad de 80 mil plantas por ha⁻¹. Durante la siembra se fertilizó con la fórmula NPK (90-80-40) y en la segunda labor solo nitrógeno con la misma dosis de la siembra. Durante el desarrollo del elote se aplicaron siete riegos por gravedad con Alfacipermetrina y Teflubenzurón al 7.1 % para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Obtención del material genético

La semilla de los híbridos de maíz se obtuvo del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Amarillo del Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala a cargo del M. C. José Luis Macías García, y del Dr. Abel Muñoz Orozco[†], investigador del Colegio de Posgraduados. Los materiales genéticos procedieron de colectas de materiales criollos de diferentes localidades del Estado de

Tlaxcala y de líneas denominadas Xocoyucan, generadas a partir de 38 materiales de diferentes Estados de la República Mexicana, generando así doce híbridos, mismos que para fines de esta investigación se consideraron como tratamientos (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Genealogía de 12 híbridos de maíz amarillo.

Tratamiento	Híbrido	Genealogía
1	HAT-55	M12A-3-3-5-5 * M8A-2-2-2-2
2	HAT-56	M14A-P1-3-1-1 * M2A-2-2-P1-1
3	HAT-57	M21A-5-4-3-3 * M17A-1-2-3-3
4	HAT-58	M33A-3-2-1-1 * M35A-3-3-3-3
5	HAT-59	X13A-2-P3-3-3 * M35A-3-3-3-3
6	HAT-60	X13A-2-P3-3-3 * M34A-3-3-3-3
7	HAT-61	M2A-5-2-2-2 * M2A-2-2-P1-1
8	HAT-62	M14A-P2-5-4-4 * M11A-4-2-1-1
9	HAT-63	M33A-5-1-P1-1 * X5R-4-2-2-2
10	HAT-64	X7A-2-P1-1-1 * M27A-3-3-4-4
11	HAT-65	X11A-3-2-2-2 * X13A-3-1-1-1
12	HAT-66	X13A-3-1-1-1 * M15A-3-1-1-1

Fuente: Elaboración propia.

Variables evaluadas

Una vez que el elote presentaba un tercio de avance de la línea de leche del grano, lo cual ocurrió aproximadamente a los 120 días posteriores a la siembra, se procedió a medir las variables a) agronómicas, b) morfométricas y c) productivas.

a) Agronómicas

En diez puntos al azar, se determinaron las siguientes variables:

Densidad de plantas por hectárea. Diez veces cada 100 m se contabilizó el número de las plantas por metro lineal, y se procedió a calcular la densidad por hectárea de cada híbrido.

Porcentaje de acame. Por cada 100 m se determinó el número de plantas con debilitamiento del tallo o del sistema radicular, las cuales se identificaban por su inclinación menor a 50°.

b) Morfométricas

De manera aleatoria y en competencia completa, se cosecharon diez plantas por cada tratamiento y se midió:

Longitud de la planta. Se determinó con flexómetro, midiendo desde el primer entrenudo hasta la espiga.

Longitud y diámetro de tallo. Con flexómetro se midió la longitud considerando el primer entrenudo hasta el inicio de la espiga, mientras que el diámetro se midió con vernier digital 150 mm 0.01 mm.

Cantidad, largo y ancho de la hoja. En cada planta se contabilizó el número de hojas y se midió con flexómetro el largo y ancho de las hojas.

Área foliar. El área foliar, se calculó de acuerdo a Musa & Hassan (2016), mediante la relación largo (LHO) y ancho (AHO) de todas las hojas de la planta, con la fórmula $(LHO \times AHO \times 0.75)$.

c) Productivas

Antes de registrar las variables de morfometría, se pesó cada una de las plantas de los híbridos. Y posterior a la morfometría, se separaron sus componentes: tallo, hojas y elotes. De esta manera se obtuvo:

Rendimiento de la planta y de sus componentes morfológicos con base en materia verde (MV). Con ayuda de una báscula con capacidad 5 kg (Truper® Código 15161), se pesó la planta completa y sus componentes para así proceder a utilizar la fórmula:

$$\text{RMV (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{(10000 \text{ m}^2)(\text{Peso fresco, kg})}{(\text{Área de cosecha, m}^2)}$$

Rendimiento de la planta y de sus componentes morfológicos con base en materia seca (MS). Se calculó multiplicando el rendimiento de materia verde por el porcentaje de materia seca, la cual se determinó de acuerdo a la metodología de la AOAC (2003).

Rendimiento en toneladas por hectárea. El cálculo se realizó en ambas bases (MV y MS), así los datos referentes al peso de la planta completa y de sus componentes morfológicos, se multiplicaron por la densidad de plantas.

Químicas y físicas (Calidad de los ensilados)

Se cosecharon 10 plantas de manera aleatoria y en competencia completa, de las cuales se obtuvieron partículas de 2 a 3 cm con una picadora de forraje, con dicho material se elaboraron silos en bolsas de color negro al 50 % de su capacidad (20 kg), y se dejaron fermentar por cuatro

meses. Posterior a la fermentación, se tomaron muestras de 1000 g de cada genotipo que presentó mayor rendimiento de materia seca, y se enviaron al Laboratorio de Control de Calidad de Servicios GAQ, S.A. de C.V. en donde se determinaron mediante la metodología NIRS (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano).

Composición química: humedad, materia seca, proteína cruda, proteína soluble, amoníaco, fibra cruda, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, grasa cruda, almidón, cenizas, minerales y características cualitativas (fermentativas). Por otra parte, digestibilidad y componentes de la proteína.

Calificación de los ensilados. Se utilizó la MS, pH y características referentes a color, olor, textura y sabor de acuerdo a la clasificación del silo de Gutiérrez (2009). Para lo cual se obtuvo el contenido de materia seca con la técnica de la AOAC (2003). Por otra parte, se tomó una muestra de 10 g, se colocó en 100 mL de agua destilada en agitación por 15 minutos; a la fase líquida se le determinó el pH con un medidor de pH multiparamétrico Edge® (230V).

Diseño experimental

El diseño estadístico utilizado fue un completamente al azar, donde los tratamientos fueron los doce híbridos de maíz y las variables respuesta consideradas fueron las descritas previamente. El análisis de varianza para el rendimiento y para los componentes se realizó con el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020), con el cual también se probaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Además, para la comparación múltiple de medias de todas las variables, se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

También se realizó un análisis de correlación lineal de Pearson y prueba de t para encontrar relación entre los componentes morfológicos y rendimiento, mediante el programa de análisis de regresión y correlación de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) Versión 1.1 2012.

Resultados y discusión

Morfometría de la planta

Altura de la planta e inserción del elote.

Estas dos variables presentaron diferencias entre los híbridos utilizados ($p < 0.05$). La altura registrada de la planta de maíz osciló de 221 a 281 cm. Valores similares se observaron en un estudio realizado por Pelayo et al. (2021) quienes evaluaron 25 genotipos de maíz para producción de grano y forraje, en los cuales la altura de planta (AP) promedio fue de 250 cm, y fluctuó de 188.6 a 275.6 cm. Por otra parte, la altura de inserción del elote fue de 140 a 190 cm, valores que resultaron superiores a lo sugerido por Shelton & Tracy (2013) quienes señalan que, en 15 híbridos de maíz dulce la altura de mazorca se ubicó alrededor de 92 cm, lo cual es importante para que la planta esté equilibrada y se evita el acame de tallo o raíz por efecto de la altura y peso de la mazorca. En este caso, el fenómeno de acame se presentó en HAT-65 y HAT-66, lo que se atribuye a la alta densidad de plantas, mayor altura de inserción del elote, tallo más largo y menor diámetro del tallo, así como menores valores en morfometría de la hoja (**Cuadro 2, 3 y 4**).

En longitud del tallo, el híbrido con el valor más alto fue: HAT-62, con 323.7 y el más bajo HAT-57 con 268.8 cm. Los materiales HAT-58, HAT-55, HAT-59, HAT-66 y HAT-63 (**Cuadro 2**) presentaron de alrededor de 300 cm, con diferencias ($p<0.05$) entre estos híbridos.

Referente al diámetro de tallo se encontraron diferencias ($p<0.05$) entre los híbridos. Los genotipos más altos fueron HAT-55 y HAT-62, mientras que el valor más bajo fue el de HAT-65 con 3.0, 2.3 y 2.3 cm de diámetro, respectivamente. Estas plantas tuvieron mayor diámetro en comparación con lo indicado por Franco Martínez et al. (2015) quienes caracterizaron híbridos y variedades de maíz forrajero en cuatro Valles Altos del Estado de México y encontraron que el número de hojas fue alrededor de 12, similar a lo encontrado en el presente trabajo, por otra parte, el diámetro del tallo no coincidió, presentando valores de 1.97 a 1.84 para los materiales del Valle de México (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Morfometría (cm) de plantas de doce híbridos de maíz amarillo cultivados para forraje.

Híbrido	Altura		Tallo	
	De la planta	De inserción del elote	Largo	Diámetro
HAT-55	284 ^a	153 ^b	311.8 ^{abc}	3.0 ^a
HAT-56	270 ^a	150 ^b	303.5 ^{abc}	2.6 ^{ab}
HAT-57	221 ^d	142 ^b	268.8 ^c	2.6 ^{ab}
HAT-58	269 ^{ab}	190 ^a	317.8 ^{ab}	2.8 ^{ab}
HAT-59	281 ^a	150 ^b	311.6 ^{abc}	2.5 ^{ab}
HAT-60	254 ^{abcd}	140 ^b	298.3 ^{abc}	2.4 ^{ab}
HAT-61	262 ^{abc}	141 ^b	295.8 ^{abc}	2.5 ^{ab}
HAT-62	270 ^a	144 ^b	323.6 ^a	2.3 ^b

HAT-63	255 ^{abcd}	144 ^b	305.0 ^{abc}	2.7 ^{ab}
HAT-64	232 ^{bcd}	149 ^b	280.3 ^{bc}	2.6 ^{ab}
HAT-65	228 ^{cd}	143 ^b	300.3 ^{abc}	2.4 ^b
HAT-66	264 ^{abc}	150 ^b	307.5 ^{abc}	2.5 ^{ab}

Medias con letra diferentes en cada columna fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

En las variables largo y ancho de la hoja, se presentaron diferencias significativas entre los doce materiales ($p \leq 0.05$), el valor más alto en la variable largo de la hoja lo obtuvo H-56 con 116.3 cm y mientras que, en ancho de la hoja, el híbrido H-55 registró el mayor valor con 10.31 cm.

En área foliar (**Cuadro 3**) se encontraron valores desde 4,708.62 hasta 10,618.12 cm² correspondiendo a los materiales HAT-60 y HAT-58, este último superior al promedio reportado por Sánchez-Hernández et al. (2021) quienes mostraron en promedio un área foliar de 5,148 cm² en una investigación en Oaxaca, México, en donde estudiaron cinco genotipos de maíz nativo para fines forrajeros a los 85 días después de la siembra.

Cuadro 3. Morfometría de la hoja de plantas de doce híbridos de maíz amarillo cultivados para forraje.

Híbrido	Número	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)
HAT-55	12.8 ^{bcd}	102.1 ^{ab}	10.3 ^a	10,114.7 ^{ab}
HAT-56	12.9 ^{bc}	116.3 ^a	9.3 ^{ab}	10,463.5 ^{ab}
HAT-57	11.8 ^{def}	83.5 ^{cd}	8.4 ^{ab}	6,225.9 ^d
HAT-58	14.4 ^a	104.1 ^{ab}	9.4 ^{ab}	10,618.1 ^a

HAT-59	12.4 ^{cde}	91.0 ^{bcd}	7.7 ^{bc}	6,532.7 ^d
HAT-60	11.5 ^{ef}	80.1 ^d	7.1 ^{bc}	4,708.6 ^e
HAT-61	13.1 ^{bc}	105.6 ^{ab}	7.7 ^{bc}	7,969.2 ^c
HAT-62	12.2 ^{cde}	97.5 ^{bc}	5.7 ^c	5,110.0 ^e
HAT-63	13.8 ^{ab}	101.5 ^{ab}	8.7 ^{ab}	9,192.1 ^b
HAT-64	10.4 ^g	91.2 ^{bcd}	8.5 ^{ab}	6,498.0 ^d
HAT-65	11.5 ^{ef}	98.3 ^{bc}	7.1 ^{bc}	6,433.1 ^d
HAT-66	11.1 ^{fg}	84.5 ^{cd}	7.9 ^{abc}	6,116.8 ^d

Medias con letra diferentes en cada columna fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Rendimiento

En la variable densidad de plantas por hectárea, hubo diferencia significativa ($p < 0.05$). Los híbridos con la mayor y menor densidad fueron HAT-56 y HAT-55 con 116,550 y 81,400 plantas por hectárea, respectivamente. Mientras que el resto de los híbridos no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, HAT-61, HAT-57, HAT-60 y HAT-65, presentaron valores mayores a 100,000 plantas por hectárea, mientras que el resto de los materiales presentaron valores menores a 98,050. Lo cual se explica por el número de granos por punto de siembra, ya que en algunos casos se depositaron hasta tres semillas y no se llevó a cabo raleo manual. Sin embargo, la

densidad de plantas por hectárea, es una variable de interés que determina la morfometría de la planta.

De todos los híbridos, sólo HAT-65 y HAT-66 presentaron 50 % de incidencia de acame y al relacionar su densidad de plantas, se observa que estos híbridos se encuentran dentro de los valores intermedios, por lo tanto, la densidad de plantas no influyo en el fenómeno de acame (**Figura 1**) y más bien pudiera relacionarse con variables como, altura y/o peso de la planta, diámetro de tallo o anclaje de la raíz.

El rendimiento de materia verde (RMV t ha^{-1}) presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), los híbridos; HAT-56 y HAT-63, rindieron 155.5 y 155.9 t ha^{-1} , seguidos de HAT-60, HAT-58, HAT-57 y HAT-59 con 125.1, 117.8, 115.4 y 114.1 t ha^{-1} respectivamente, mismos que fueron cultivados a densidades de siembra de 98,050; 116,500; 103,600; 83,250; 107,300 y 88,800 plantas por hectárea respectivamente (**Cuadro 4**). El RMV t ha^{-1} del híbrido HAT-63 fue superior al reportado por Zaragoza-Esparza et al. (2021) con 78.9 t ha^{-1} y Zaragoza-Esparza et al. (2019) con 75 t ha^{-1} ; así como también superior al rendimiento reportado por Palemón et al., (2021) al trabajar con 25 híbridos de cruza simple de maíz, quienes reportan rendimientos de forraje verde con fluctuaciones de 29 a 46 t ha^{-1} , y promedio de 38.8 t ha^{-1} . Sin embargo, estas diferencias, se pudieron deber a la densidad y a la morfometría de las plantas, en este caso HAT-63, fue uno de los materiales que presentó mayor diámetro del tallo. Pero sobre todo al porcentaje de humedad al momento de la cosecha.

Como se observa en el **Cuadro 4**, el mayor rendimiento de materia seca (RMS t ha^{-1}), lo presentó el híbrido HAT-60 con 45.0 t ha^{-1} , superior al obtenido por Zaragoza-Esparza et al. (2021) de 23.1 t ha^{-1} y Zaragoza-Esparza et al. (2019) de 26.4 t ha^{-1} ; también fue superior al reportado por Rivas-Jacobo et al. (2018) con 32.8 t ha^{-1} y Rivas-Jacobo et al. (2019) con 28.12 t ha^{-1} . Estos resultados en base materia seca, son los que definen su rendimiento, debido a que se determina una vez que se ha transformado el material en base húmeda a base seca (**Figura 1**).

El rendimiento de materia seca (MS) en toneladas por hectárea, presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), en este sentido, el híbrido con mayor rendimiento fue HAT-60, seguido por HAT-56 con 45.0 y 43.7 t ha^{-1} , respectivamente (**Cuadro 4**). Estos resultados resultan prometedores para la producción de ensilaje en la que se ocupa una gran cantidad de MS para

alimentar principalmente ganado bovino para leche. Pues los rendimientos encontrados en este trabajo representan el doble de los resultados obtenidos por Palemón et al. (2021) en donde el rendimiento promedio de forraje seco (RFS) fue de 2.4 kg, y varió de 2 a 2.9 kg de materia seca por planta a una densidad de 73, 529 plantas.

Cuadro 4. Densidad de plantas por hectárea y Rendimiento en base materia verde y seca ($t\ ha^{-1}$) de doce híbridos de maíz amarillo cultivados para producción de forraje.

Híbrido	Densidad de plantas	Materia Verde	Materia Seca
HAT-55	81,400 ^b	111.0 ^{ab}	35.0 ^{abc}
HAT-56	116,550 ^a	155.5 ^a	43.7 ^{ab}
HAT-57	107,300 ^{ab}	115.4 ^{ab}	41.4 ^{abc}
HAT-58	83,250 ^{ab}	117.8 ^{ab}	31.7 ^{abc}
HAT-59	88,800 ^{ab}	114.1 ^{ab}	31.4 ^{abc}
HAT-60	103,600 ^{ab}	125.1 ^{ab}	45.0 ^a
HAT-61	109,150 ^{ab}	112.6 ^{ab}	35.1 ^{abc}
HAT-62	90,650 ^{ab}	94.0 ^b	30.9 ^{bc}
HAT-63	98,050 ^{ab}	155.9 ^a	41.6 ^{abc}
HAT-64	96,200 ^{ab}	107.3 ^b	40.6 ^{abc}
HAT-65	101,750 ^{ab}	100.7 ^b	35.9 ^{abc}
HAT-66	86,950 ^{ab}	102.1 ^b	29.5 ^c

Medias con letra diferente, son estadísticamente diferentes ($p>0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

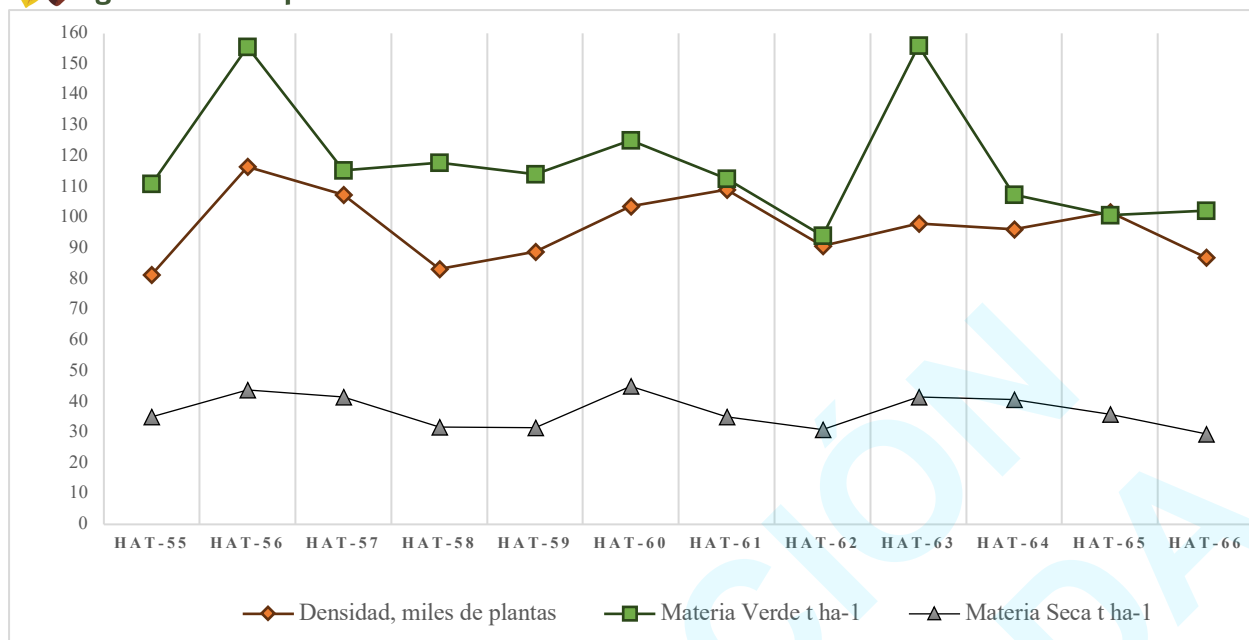


Figura 1. Densidad de plantas por hectárea y Rendimiento en base materia verde y seca de doce híbridos de maíz amarillo cultivados para producción de forraje.

Fuente: Elaboración propia.

Los rendimientos de materia seca de la hoja de los híbridos utilizados presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), lo que implica que existe posibilidad de seguir seleccionando híbridos con mayor contenido de MS de hoja, ya que los resultados obtenidos presentaron rendimientos de 4.64 a 7.66 t ha⁻¹. Estos valores fueron mayores a los reportados por Joaquín-Cancino et al. (2022) quienes reportaron 1.89 t ha⁻¹, esto en un estudio de maíces nativos con aptitud forrajera en condición subtropical efectuado en Tamaulipas, México; también algunos híbridos tuvieron mayor rendimiento en base MS que los indicados por Rivas-Jacobo et al. (2018) con 5.7 t ha⁻¹ y a los obtenidos por Boschini y Elizondo (2004) con 5.72 t ha⁻¹.

En el caso de rendimiento de MS de tallo hubo diferencias significativas entre los híbridos, el rendimiento más alto correspondió al híbrido HAT-60 con 24.90 t ha⁻¹, este rendimiento fue superior al obtenido por Rivas-Jacobo et al. (2018) que obtuvo 19.1 t ha⁻¹, de allí los híbridos HAT-56, HAT-59, HAT-55, HAT-57, HAT-64, HAT-61, HAT-63, HAT-58 y HAT-66 con 22.24, 20.35, 19.71, 17.98, 17.64, 17.37, 16.86, 16.40 y 12.91 t ha⁻¹, respectivamente. Estos resultados superaron

al resultado (3.97 t ha⁻¹) registrado por Joaquín-Cancino et al. (2022) y a lo obtenidos por Boschini y Elizondo (2004) con 5.90 t ha⁻¹.

En el rendimiento de materia seca del elote se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), el mayor rendimiento se presentó en HAT-65 con 19.20 t ha⁻¹, seguido de los híbridos, HAT-63, HAT-57, HAT-64, HAT-56, HAT-66, HAT-55, HAT-60, HAT-58, HAT-62, HAT-61 y HAT-59 con 16.21, 14.99, 14.67, 14.91, 11.10, 10.98, 12.93, 10.21, 10.87, 10.81 y 6.19 t ha⁻¹, respectivamente (**Cuadro 5**). Estos resultados son mayores a los reportados por Joaquín-Cancino et al. (2022) que obtuvo 4.2 t ha⁻¹ de materia seca del elote; así como también al obtenido por Boschini y Elizondo (2004) de 6.33 t ha⁻¹ y al obtenido por Rivas-Jacobo et al. (2018) de 8.9 t ha⁻¹ en una investigación realizada con maíces híbridos trilineales en Ahuacatlán, Nayarit, México.

Cuadro 5. Rendimiento (t ha⁻¹) de materia seca por componente morfológico de doce híbridos de maíz amarillo cultivados para producción de forraje.

Híbrido	Hoja	Tallo	Elote
HAT-55	6.82 ^a	20.0 ^a	10.98 ^{abc}
HAT-56	6.40 ^{bc}	22.0 ^{abcd}	14.91 ^{abc}
HAT-57	5.95 ^{bc}	18.0 ^{bcde}	14.99 ^{abc}
HAT-58	5.74 ^{ab}	16.0 ^{abcd}	10.21 ^{abc}
HAT-59	5.55 ^{abc}	20.0 ^{abc}	6.19 ^c
HAT-60	6.01 ^{bc}	25.0 ^{ab}	12.93 ^{abc}
HAT-61	7.66 ^{ab}	17.0 ^{cde}	10.81 ^{bc}
HAT-62	6.35 ^{ab}	13.0 ^{de}	10.87 ^{abc}
HAT-63	6.51 ^{abc}	17.0 ^{abcd}	16.21 ^{ab}
HAT-64	6.25 ^{abc}	18.0 ^{abcd}	14.67 ^{ab}

HAT-65	4.64 ^c	9.50 ^e	19.20 ^a
HAT-66	4.68 ^{bc}	13.0 ^{de}	11.10 ^{abc}

Medias con letra diferente, son estadísticamente diferentes ($p>0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

La relación de los componentes de rendimiento morfológico se calculó de los resultados de rendimiento de materia seca total y por componentes ($t\ ha^{-1}$). Se encontró diferencia significativa ($p<0.05$) en las relaciones, hoja planta (RH:P), tallo planta (RT:P) y elote planta (RE:P). Los resultados se aproximaron a los encontrados por Rivas-Jacobo et al. (2018) quienes trabajaron con trece genotipos de maíz para fines forrajeros en Uzeta, Ahuacatlán y Nayarit, quienes registraron valores mínimos y máximos fueron de 0.16 y 0.22, 0.43 y 0.58, 0.26 y 0.35 para RH:P, RT:P RE:P, respectivamente. Mientras que, en el presente trabajo fueron 0.13 y 0.22; 0.27 y 0.65; 0.20 y 0.54, para las mismas variables (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Relación del rendimiento hoja, tallo y elote con respecto a la planta de doce híbridos de maíz amarillo cultivados para producción de forraje.

Híbrido	RH:P	RT:P	RE:P
HAT-55	0.197 ^{abc}	0.570 ^{ab}	0.317 ^{bc}
HAT-56	0.148 ^{cd}	0.513 ^{bcd}	0.333 ^b
HAT-57	0.145 ^{cd}	0.432 ^{cd}	0.360 ^b
HAT-58	0.183 ^{abcd}	0.522 ^{abcd}	0.322 ^{bc}
HAT-59	0.178 ^{abcd}	0.657 ^a	0.203 ^c
HAT-60	0.135 ^d	0.552 ^{abc}	0.285 ^{bc}

HAT-61	0.222 ^a	0.478 ^{bcd}	0.305 ^{bc}
HAT-62	0.208 ^{ab}	0.408 ^d	0.335 ^b
HAT-63	0.160 ^{bcd}	0.408 ^d	0.378 ^b
HAT-64	0.157 ^{bcd}	0.437 ^{bcd}	0.355 ^b
HAT-65	0.130 ^d	0.270 ^e	0.540 ^a
HAT-66	0.160 ^{bcd}	0.440 ^{bc}	0.380 ^b

Medias con letra diferente en cada columna, son estadísticamente diferentes ($p>0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Correlación de la MS planta completa, hoja, tallo y elote.

El rendimiento de materia seca de planta completa con respecto al rendimiento de las hojas, fue baja ($r=0.28$), en términos productivos se traduce en que del 100 % de la planta de maíz, el 27 % corresponde a hoja, esta relación es mayor a la obtenida por Mendoza-Pedroza et al. (2019) con un $r=0.25$ y Rivas-Jacobo et al. (2018) con un $r=0.16-0.22$, pero menor a la registrada por Elizondo-Salazar (2011), donde obtuvo 0.30 de relación planta – hoja para el caso de maíz híbrido y 0.34 para el caso de maíz criollo, en un estudio realizado en Cartago, Costa Rica.

En el rendimiento de materia seca de la planta con respecto al rendimiento de tallo se observó un coeficiente de correlación medianamente fuerte ($r=0.58$), lo que se traduce en que el 58 % de la planta es tallo, este resultado es mayor al reportado por Rivas-Jacobo et al. (2019) con un valor de $r=0.44$, y está dentro de los valores obtenidos por Rivas-Jacobo et al. (2018) ($r=0.43-0.58$),

mientras que fue superior al registrado por Elizondo-Salazar (2011), para las variedades híbrida y criolla ($r=0.41$ y 0.56 , respectivamente).

El coeficiente de correlación de rendimiento de MS de la planta con respecto al elote fue moderado ($r=0.37$), esto es que, del peso total de la planta de maíz, el 37 % corresponde al elote (**Cuadro 7**). Este resultado fue menor al obtenido por Mendoza-Pedroza et al. (2019) con un valor de $r=0.61$, y ligeramente mayor al resultado que obtuvieron Rivas-Jacobo et al. (2018) con valores de $r=26-35$; en lo que respecta a Elizondo-Salazar (2011) el resultado obtenido en su investigación fue mayor ($r=0.371$), en comparación con una variedad de maíz híbrido ($r=0.29$) y para una variedad criolla ($r=0.10$).

Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Pearson de la MS de los componentes morfológicos de doce híbridos de maíz amarillo cultivados para producción de forraje.

Variables	Planta completa	Hoja	Tallo	Elote
Planta completa		0.277	0.582	0.371
Hoja	0.277*		0.499	-0.318
Tallo	0.582*	0.499*		-0.508
Elote	0.371*	-0.318*	-0.508*	

(* $\alpha=0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que también se presentaron correlaciones negativas, baja (-0.318) para Elote y Hoja y alta (-0.508) para Tallo y Elote. Variables que se deben tener presentes en la elección de los materiales para forraje, ya que en ambas relaciones se presenta disminución de una y el aumento en la otra.

Calidad de los ensilados

El contenido de materia seca (MS) osciló de 20 a 25 % MS (**Cuadro 9**). Estos valores estuvieron asociados a la edad de la planta al momento del corte, el cual se realizó a un tercio de avance de la línea de leche del grano. Con respecto al contenido promedio de proteína cruda (PC), los valores oscilaron de 9.1 a 9.8 % (**Cuadro 9**). Estos resultados fueron mayores a los obtenidos por Joaquín–Cansino et al. (2022) quienes indicaron un promedio de 8.7 % de proteína cruda, al realizar un estudio con materiales nativos y condiciones subtropicales. Otra investigación realizada en el Valle de México por Zaragoza–Esparza et al. (2019) obtuvo valores de proteína cruda de 7.8 – 9.0 %, lo que indica que los híbridos pueden tener altos valores de proteína cruda, lo que es una ventaja adicional a su adaptabilidad al ambiente.

Para los valores de fibra detergente neutro (FDN) el híbrido HAT-64 presentó 41.9 %, seguido de HAT-57 con 47.8 % (**Cuadro 9**), estos resultados son similares al valor registrado (47.5 %) por Zaragoza–Esparza et al. (2021). En cuanto a fibra detergente ácido (FDA) el mejor valor lo obtuvo HAT-64 con 26.6 %, seguido por HAT-57 con 31.1 %. Estos valores se encuentran en el rango de alta calidad forrajera determinado por Herrera (1999) y por Peña et al. (2002). Los tratamientos restantes HAT-55, HAT-56, HAT-58 obtuvieron 35.3, 35.9 y 36.8 respectivamente. Al parecer valores por abajo del 50 % para FDN y alrededor del 30 % de FDA, presentan mayor digestibilidad de la MS, lo cual se observó en los híbridos HAT-64 y HAT-57.

Otro aspecto importante a considerar es el valor de la grasa como un nutriente importante en el ganado lechero, en este sentido el híbrido que obtuvo el porcentaje más alto de grasa cruda fue HAT-64 con 2.5 %, posteriormente los híbridos; HAT-57, HAT-55, HAT-58, HAT-56 y HAT-60 con porcentajes de 2.3, 2.1, 2.0, 2.0 y 1.4, respectivamente (**Cuadro 9**).

Con relación al contenido de ceniza, valores mayores a 12 %, son asociados a contaminación con suelo durante la cosecha o elaboración del ensilaje (Chaverra & Bernal 2000), el menor contenido encontrado en el presente trabajo fue de 6.8 % y el mayor de 8.7 % para HAT-64 y HAT-8.7, respectivamente. No obstante, al estar abajo del 12 %, no necesariamente indica que no haya habido

contaminación, pues la suma de calcio, fosforo, magnesio, potasio y azufre, no suman el valor total de cenizas (**Cuadro 9**).

Cuadro 9. Composición química (%) del ensilaje del forraje de cinco híbridos de maíz amarillo, en relación con la densidad de plantas por hectárea.

	HAT-55	HAT-56	HAT-57	HAT-58	HAT-64
	Densidad				
Componente	81400	116550	107300	83250	96200
Materia Seca	22.9	22.7	25.4	21.4	25.3
Fibra Detergente Neutro	55.1	55.6	47.8	58.2	41.9
Fibra Detergente Acido	35.3	35.9	31.1	36.8	26.6
Grasa Cruda	2.15	2.01	2.32	2.09	2.52
Almidón	5.1	2.8	9.7	1.9	16.4
Digestibilidad	72.7	72.4	76.3	70.1	76.8
Cenizas	7.84	8.29	8.33	8.77	6.88
Calcio	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24
Fosforo	0.35	0.35	0.33	0.35	0.31
Magnesio	0.21	0.2	0.23	0.18	0.2
Potasio	2.09	2.1	1.95	2.3	1.68
Azufre	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la densidad de plantas por hectárea no afectó, al menos numéricamente la digestibilidad, PC, cenizas ni grasa. Sin embargo, la variación en las fibras se debiera atribuir a variables como altura y grosor del tallo, atribuido a la densidad de plantas.

Por otra parte, lo ideal para el mejor aprovechamiento de la proteína cruda en los animales, es mantener la proteína soluble en un rango entre el 40-60 (Callejo, 2018). Los híbridos de la presente investigación se encontraron dentro de dicho rango; y se observó que la proteína degradada en rumen (PDR) fue de alrededor del 75 % (**Cuadro 10**).

Cuadro 10. Componentes (%) de la proteína cruda del forraje del ensilaje de cinco híbridos de maíz amarillo.

Componente	HAT-55	HAT-56	HAT-57	HAT-58	HAT-64
Proteína Cruda	9.3	9.1	9.5	9.8	9.4
Proteína Soluble	54.3	55.6	53.9	52.2	51.7
Proteína degradada en rumen	77.1	77.8	76.9	76.1	75.9
Aminoácidos de Proteína	60.5	60.7	60.8	59.5	64.3

Fuente: Elaboración propia.

Características fermentativas de los ensilajes

Los ensilajes de maíz, por lo general deben tener un pH de 4 o menos, con valores idóneos de 3.5. Sin embargo, aunque un pH esté dentro del rango normal, puede presentar algunos problemas por la presencia de otro tipo de bacterias que no sean lácticas, por lo que es aconsejable relacionar el

valor de pH con el contenido de MS para evaluar la estabilidad (Gutiérrez, 2009). Con base en lo anterior, se realizó la correlación de estas variables (**Cuadros 10 y 11**), en donde se calificó a los ensilados como excelentes a excepción de HAT-60, el cual presentó un pH por arriba de 4.

La calificación otorgada a un ensilado de acuerdo a Sánchez-Duarte & García (2017), depende del nitrógeno amoniacal, por lo que clasifican un ensilado como de buena calidad cuando la concentración de nitrógeno amoniacal se encuentra de 7 a 20 % del nitrógeno total. Los resultados del presente trabajo se encontraron dentro de dicho rango (7.5 a 13.1). Mientras que Gipuzkoa (2002) considera que un contenido de 15 % del nitrógeno total, indica fermentación deficiente, caso que coincide con el ensilaje del híbrido HAT-60 (**Cuadro 11**).

Con respecto a los ácidos grasos volátiles (AGVs), el ácido láctico presentó valores de 5.0 a 6.5 g por kg de MS. Con este valor los ensilados se clasifican de buena calidad porque Seglar (2003), señala que, en un buen proceso de fermentación, el ácido láctico debe presentar valores de tres veces más que el resto. El ácido acético presentó valores de 1.4 a 4.1 g por kg de MS, el ácido butírico no se presentó, y el ácido propiónico registró valores menores a un gramo por kg de MS. Los valores mínimos deseables para acético deben estar por abajo de los 20 g por kg de MS, para butírico solo presencia de trazas y para propiónico de 0.1 a 2 g/kg de MS (Callejo, 2018).

Cuadro11. Componentes (MS) de fermentación del forraje de cinco híbridos de maíz amarillo.

Componentes	HAT-55	HAT-56	HAT-57	HAT-58	HAT-64
pH	3.87	3.99	3.77	3.88	3.90
Materia Seca	22.90	22.70	25.40	21.40	25.30
Nitrógeno amoniacal	9.00	6.60	7.80	8.60	7.50
Ácidos grasos volátiles (AGVs):	8.53	7.68	7.95	9.33	6.36
Láctico	5.63	5.01	6.52	6.39	5.10
Láctico (del total de AGVs)	66.00	65.00	82.00	68.00	80.00

Acético	2.90	2.67	1.43	2.94	1.26
Butírico	-	-	-	-	-
Propanediol	0.72	0.6	0.23	0.73	0.15

Fuente: Elaboración propia.

Calificación de los ensilajes de acuerdo al contenido de MS y pH

El análisis de los híbridos HAT-55, HAT-56, HAT-57, HAT-58 y HAT-64, evaluados con la metodología de Gutiérrez (2009) quien relaciona contenido de MS y pH, mostró que cuatro de los ensilajes presentaron calificación de excelente y sólo HAT-60 obtuvo calificación de regular.

Conclusiones

Los coeficientes de correlación obtenidos indican que existe una respuesta positiva entre los tres componentes morfológicos con respecto a la productividad del maíz. A mayor rendimiento de materia seca de hoja, tallo y elote se obtiene mayor rendimiento de forraje en toneladas por hectárea. Estos componentes junto con el número de hojas por planta y área foliar determinan su

composición química y finalmente la calidad del ensilado de las plantas de cada híbrido evaluado. Los híbridos HAT- 65 y HAT-66 mostraron tener potencial para uso forrajero sobre todo porque no presentan acame. El híbrido HAT-58 fue el que más sobresalió en las variables morfométricas ya que se encontró en el grupo con la mayor altura de inserción del elote, mayor largo y diámetro de tallo, mayor área foliar, también en la producción de materia verde y materia seca.

Agradecimientos

Al M.C. José Luis Macías García, por su colaboración otorgando muestras de los híbridos para su estudio con fines forrajeros como complemento del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT).

Declaración de conflictos de intereses

Sin ningún conflicto de intereses.

Declaración del uso de inteligencia artificial (IA)

Los autores declaramos no haber utilizado IA generativa o tecnologías asistidas por IA para el desarrollo del presente manuscrito.

Referencias

- AOAC. 2003. Métodos de análisis de la asociación oficial de química analítica para determinar humedad, fibra, cenizas, grasa y proteína. Obtenido de Washington, U.S.A., Chapter 32: 1, 2, 5 y 14.
- Callejo R. A. (2018). Conservación de forrajes (X): Calidad del ensilado. Artículo técnico Revista Frisona Española número 228. 100-104 pp.
<https://www.revistafrisona.com/Noticia/conservacion-de-forrajes-x-calidad-del-ensilado-i>
- Chaverra, G, H. & Bernal, E, J. (2000). El ensilaje en la alimentación de ganado vacuno. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA, 2000.
<https://repositorio.iica.int/server/api/core/bitstreams/59b47eb2-de68-4ced-91bd-44d1bad74448/content>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStatversión (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. infostat.com.ar.
- Elizondo-Salazar, J.A. (2011). Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje. Nota técnica. *Agronomía costarricense* 35(2):105-111. ISSN:0377-9424/2011.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242011000200009
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D., & Luck, B. D. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of dairy science*, 101(5):3937-3951.
- Gipuzkoa (2002). Interpretación de análisis de ensilados.
<https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2229027/recomenvaloraciondesilos.pdf/1a216da2-d38b-a520-e639-6b9d6fe12e18>

- Guerrero-Rodríguez J. D., F. Muñoz-Tlahuiz, P A. Lopez, H. Lopez- Sanchez, J A. Hernandez G. & 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>
- Gutiérrez, L. M. (2009). Evaluación práctica de silajes y henolajes empaquetados. Unidad Integral de Balcarce – Facultad de. Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. – EEA Balcarce INTA. Argentina. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/129-evaluacion.pdf
- Herrera, S. R. (1999). La importancia de los maíces y sorgos mejorados para la producción de ensilaje In: 2^{do}. Taller nacional de especialidades de maíz. UAAAN Saltillo, Coahuila, México 133-137pp.
- Joaquín-Cancino, S., Rocandio R., M., Álvarez V. P., Hernández G. F, J., Limas M. A. G. & Garay M, J, R. (2022). Rendimiento y valor nutritivo del forraje y ensilado de maíces nativos en condiciones subtropicales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(5):873-881. Epub 10 de octubre de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.3231>
- Franco Martínez, J. R. P., González Huerta, A., Pérez López, D., & González Ronquillo, M. (2015). Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8):1915-1927. Recuperado en 08 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801915&lng=es&tlng=es.
- Mendoza-Pedroza S.I., Rivas-Jacobo M.A., Carballo-Carballo A. & Quero-Carrillo A.R. (2019). Productividad y caracteres morfológicos de híbridos de maíz forrajero. *Agro Productividad*, 12(8). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1452>
- Musa U. T. & U. T. Hassan (2016) Leaf area determination for maize (*Zea mays* L.), okra (*Abelmoschus esculentus* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) crops using linear measurements. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 6:103-111.

- Neumann, M., Baldissera, E., Alessi Ienke, L., Martins de Souza, A., Piemontez de Oliveira, P. E., & Harry Bumbieris Junior, V. (2024). Nutritional Value Evaluation of Corn Silage from Different Mesoregions of Southern Brazil. *Agriculture*, 14(7):1055. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071055>
- Palemón Alberto, Francisco, Reyes García, Guadalupe, Gómez Montiel, Noel Orlando, Sierra Macías, Mauro, Preciado Ortiz, Ricardo Ernesto, & Ortega Acosta, Santo Ángel. (2019). Genotipos de maíz con potencial forrajero para las condiciones de secano del estado de Guerrero, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8):1895-1901. Epub 05 de febrero de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1691>
- Peña, R, A., Núñez, H.G. & González, C, F. (2002). Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 40(3). <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1300>
- Rivas-Jacobo, M.A., Carballo, C, A., Quero, C, A.R., Mendoza, P, S. I, Vaquera, H, H., Rivas, Z, M. A., & Sánchez, H, M.A (2019). Productividad y caracteres morfológicos de híbridos de maíz forrajero. *Revista Agro productividad*, 12(8):59-65.
- Rivas-Jacobo, M. A., Carballo C., A. R. Quero C., A. Hernández G., H. Vaquera H., E. C. Rivas Z., & 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.
- Sánchez-Duarte & García, A. 2017. Ammonia –N concentration in alfalfa silage and its effects on dairy cow performance. A meta-analysis. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 30(3): 175-184. <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295052075002.pdf>
- Sánchez-Hernández, M. A., Morales, T, G., Mendoza, P, S.I., Hernández, B, J., Fraire, S & Rivas, M.A. (2021). Caracterización productiva de maíces nativos con aptitud forrajera en la cuenca baja del Papaloapan. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44(4A):755-764. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4-A.755>

- Seglar, B. (2003). Fermentation Analysis and Silage Quality Testing. Retrieved from the University Digital Conservancy. <https://hdl.handle.net/11299/108997>.
<https://conservancy.umn.edu/items/0a2ce24d-4511-4eac-9e1c-748f324c77d6>
- Shelton, A. C., & Tracy, W. F. (2013). Genetic Variation and Phenotypic Response of 15 Sweet Corn (*Zea mays L.*) Hybrids to Population Density. *Sustainability*, 5(6):2442-2456.
<https://doi.org/10.3390/su5062442>
- Ixtacuixtla.gob.mx. (2023). Tu municipio. Conoce a detalle temas relacionados con tu municipio. Recuperado de: <https://ixtacuixtla.gob.mx/tu-municipio/medio-fisico>
- Zaragoza-Esparza, J., Tadeo, R, M., Espinoza, C, A., López, L, C., García, E, J.C., Zamudio, G, B., Turrent, F, A. & Rosado, N, F. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1):101-111.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>
- Zaragoza-Esparza, J., Medina, F, M.F., Tadeo, R, M., Espinoza, C, A., López, L, C., Canales, I, E., Chávez, G, A. & Alonso, S, H. (2021). Productividad y calidad de forraje de híbridos trilineales de maíz para Valles Altos de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 44(4):537-544. Epub 30 de noviembre de 2023 <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.537>