

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN



Evaluación Agronómica y Productiva de Veinte Genotipos de Maíz para Producción
de Forraje y Grano en Galeana, Nuevo León

Por:

JOSE LUIS VELASCO MONTESINOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Evaluación Agronómica y Productiva de Veinte Genotipos de Maíz para Producción
de Forraje y Grano en Galeana, Nuevo León

Por:

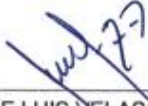
JOSE LUIS VELASCO MONTESINOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité Asesor:



DR. JOSE LUIS VELASCO LOPEZ
Asesor Principal



DR. ROSENDO HERNANDEZ MARTINEZ
Asesor Principal Externo



DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMIREZ
Coasesor



M.C. MODESTO COLIN RICO
Coasesor



DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

MANIFESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

El suscrito, José Luis Velasco Montesinos, estudiante de nivel licenciatura de la especialidad Ingeniero Agrónomo en Producción, con matrícula 41191453, autor de la presente Tesis, manifiesto que:

1. Reconoce que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente tesis, han sido debidamente citadas, reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor, materiales bibliográficos consultados por cualquier vía, y manifiesto no haber hecho mal uso de alguno de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance del comité de asesoría, está suscrito a la orientación y guía, respecto a la metodología de la investigación realizada para la presente Tesis; así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, por lo tanto, eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi Comité de Asesoría, aceptando cualquier responsabilidad al respecto es únicamente a mi persona.



José Luis Velasco Montesinos

Tesista de Licenciatura

AGRADECIMIENTOS

- Dr. José Luis Velasco López, Docente – Investigador del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN por su apoyo en todo el proceso experimental e investigación de esta misma Tesis.
- Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez, Docente – Investigador del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN por proporcionar material genético.
- Dr. Rosendo Martínez Hernández, Investigador titular C. Programa Maíz del INIFAP, por proporcionar material genético de híbridos de maíz y por el apoyo de seguimiento de los resultados obtenidos del experimento.
- M.C. Modesto Colín Rico, docente – investigador del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN por su apoyo al formar parte del comité de asesoría.
- Mayra Alejandra Sosa Flores, Técnica Académica del Laboratorio de Nutrición Animal.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, mi mamá por decirme que siempre haga lo que en verdad quiera lograr en esta vida pero que siempre sea lo correcto, y mi padre, por enseñarme que las cosas se logran con esfuerzo y con trabajo. A mi hermana Jacqueline, por acompañarme gran parte de la trayectoria de mi carrera profesional. A mi hermano Ángel, por darme siempre ánimos con su forma de ser tan única y a mi sobrina Alice que induce a que yo sea un buen ejemplo para ella.

A mi pareja y compañera la, Ing. Nelly Jiménez, por acompañarme emocionalmente y por ser el mayor apoyo que impulsa a que mi persona quiera ser aún mejor para mí, y a que me siga superando.

A mis abuelos, tíos y primos, que de alguna u otra forma creen en mí, para que yo cumpla con mis objetivos.

A mis amigos, por apoyarme durante mi estancia en la carrera y por los momentos que compartimos tanto buenos como malos, pero siempre superándolo cada quien a su manera.

Al Dr. José Luis Velasco por la amplia convivencia que hemos tenido estos años, y por el apoyo que me ha brindado.

RESUMEN

La producción de forraje en México es un componente esencial para la seguridad alimentaria, siendo el maíz el recurso energético y nutricional más relevante para el sector pecuario. En el sur de Nuevo León, el municipio de Galeana concentra gran parte de la producción estatal, aunque enfrenta desafíos críticos como el cambio climático y rendimientos de apenas 1.04 t ha^{-1} , cifra drásticamente inferior a la media nacional debido a la dependencia de sistemas de temporal. Por ello, este estudio se justifica en la necesidad de identificar germoplasma adaptado que optimice la productividad regional ante condiciones ambientales de la región. El objetivo general de la investigación fue evaluar el comportamiento agronómico y el potencial de rendimiento de veinte genotipos de maíz para determinar su aptitud en la producción de forraje y grano bajo las condiciones del sur de Nuevo León. El estudio se realizó en el Campo Experimental de la UAAAN, ubicado en el Ejido Navidad, Galeana, N.L. Se utilizaron 10 poblaciones mejoradas de la UAAAN y 10 híbridos del INIFAP, establecidos bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y una densidad de siembra de $74,074 \text{ semillas ha}^{-1}$. Se midieron variables morfológicas, componentes de mazorca y rendimientos de forraje verde, seco y grano. Los análisis de varianzas mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables. El genotipo 7 (OC22 LOPEZ GARCIA MARCEÑO#) destacó como el superior en biomasa, alcanzando $57,084.00 \text{ kg ha}^{-1}$ de forraje verde y $19,979.00 \text{ kg ha}^{-1}$ de forraje seco similares al testigo genotipo 2 con $51,711.00$ y $18,099.00 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. En rendimiento de grano, el genotipo 15 sobresalió con $12,228.00 \text{ kg ha}^{-1}$ y superior al testigo con $8,450.00 \text{ kg ha}^{-1}$. Se identificaron los materiales 1, 8, 6 y 13 como genotipos de doble propósito por su alto desempeño en ambos rubros. Estos resultados son de gran relevancia técnica, ya que estos materiales superaron con amplio margen a la media regional, y por lo tanto representan una oportunidad estratégica para optimizar la producción pecuaria y garantizar la seguridad alimentaria en la zona.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.3 Hipótesis Ho.....	13
1.4 Hipótesis Ha.....	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
2.1 Contexto global y cambio climático	14
2.2 La demanda de la ganadería y el rol del maíz forrajero	15
2.3 Germoplasma de maíces nativos.....	16
2.4 Características de Galeana, Nuevo León y la Región Sur: Limitaciones y oportunidades en la producción forrajera.....	17
2.5 Híbridos experimentales y variedades mejoradas	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1 Sitio de evaluación	21
3.2 Material genético.....	21
3.3 Diseño experimental	21
3.4 Manejo agronómico	21
3.5 Variables evaluadas.....	23
3.6 Análisis estadísticos.....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Análisis general.....	26
4.2 Análisis de varianza para rendimiento de forraje y variables morfológicas ...	26
4.3 Medias para rendimiento de forraje verde y variables morfológicas	28

4.4 Análisis de varianza para rendimiento de grano y componentes de la mazorca	30
4.5 Medias para componentes de la mazorca	32
4.6 Comparación gráfica de medias para rendimiento de forraje y rendimiento de grano.....	36
V. CONCLUSIONES	39
VI. BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Materiales genéticos de maíces híbridos y poblaciones mejoradas.	22
Cuadro 2. Cuadrados medios del ANVA para rendimiento de forraje y variables morfológicas en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.	27
Cuadro 3. Medias para rendimiento de forraje y variables morfológicas en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.	29
Cuadro 4. Cuadrados medios del ANVA para rendimiento de grano y componentes de la mazorca en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.	32
Cuadro 5. Medias para componentes de la mazorca en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.	34
Cuadro 6. Medias de componentes de rendimiento de grano en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medias de rendimiento de forraje seco (a) y rendimiento de grano (b) en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.	37
---	----

I. INTRODUCCIÓN

La producción de forrajes es un componente esencial para la seguridad alimentaria y la estabilidad económica del sector pecuario en México, actividad que ocupa aproximadamente el 60% del territorio nacional. Dentro de los insumos nutricionales, el maíz (*Zea mays* L.) se destaca como el principal recurso para el ganado de carne y leche debido a su excepcional valor energético, palatabilidad y digestibilidad. Su capacidad para generar grandes volúmenes de materia seca por unidad de superficie lo sitúa por encima de otros cereales, siendo fundamental para el sostenimiento de las cuencas lecheras.

En el estado de Nuevo León, la región sur integrada por los municipios Galeana, Dr. Arroyo, Aramberri, General Zaragoza, Mier y Noriega e Iturbide representa el corazón agrícola del cultivo de maíz, concentrando el 90% de la producción total de la entidad. Esta zona se caracteriza por una compleja orografía de valles altos y una diversidad climática que incluye hasta 12 nichos ecológicos específicos, definidos por variaciones en altitud, temperatura y precipitación. Para los productores locales, el maíz no solo es un cultivo básico, sino la base de la alimentación de su ganado en un entorno donde las opciones forrajeras son limitadas.

Sin embargo, la producción en esta región enfrenta desafíos críticos que amenazan su viabilidad. El cambio climático ha intensificado la frecuencia de sequías y olas de calor, elevando la temperatura promedio y reduciendo la precipitación acumulada, lo que impacta directamente en el rendimiento de los cultivos. En el sur de Nuevo León, la productividad es drásticamente inferior a la media nacional, registrando apenas 1.04 t ha⁻¹ frente a las 3.51 t ha⁻¹ del promedio nacional, debido a que el 93.2 % de la superficie depende de sistemas de temporal con lluvias erráticas. A esto se suman limitaciones socioeconómicas, donde el 60% de la población rural vive en pobreza, restringiendo su acceso a tecnologías de riego y semillas comerciales de alto costo.

Ante este panorama, la relevancia de realizar estudios de evaluación agronómica radica en la necesidad de identificar materiales genéticos que posean una

resiliencia intrínseca a las condiciones de estrés abiótico. México, como centro de origen del maíz, posee una vasta riqueza de maíces nativos, como las razas Tuxpeño, Olotillo y Ratón, que han demostrado estabilidad productiva en ambientes desfavorables. Sin embargo, el uso de híbridos modernos también ofrece ventajas en términos de uniformidad y potencial productivo bajo manejo tecnificado.

Por lo tanto, este trabajo de investigación surge de la necesidad de evaluar el comportamiento fenotípico y productivo de veinte genotipos de maíz, incluyendo 10 poblaciones mejoradas de la UAAAN y 10 híbridos del INIFAP, bajo las condiciones ambientales de Galeana, Nuevo León. El estudio de variables morfológicas y componentes de rendimiento permite determinar qué materiales logran el mejor equilibrio entre la producción de biomasa verde y el rendimiento de grano. La identificación de genotipos sobresalientes, como aquellos que superan la media general en rendimiento de forraje seco, es vital para optimizar la producción agropecuaria regional y garantizar la soberanía alimentaria de los productores frente a la incertidumbre climática actual.

1.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento agronómico y el potencial de rendimiento de veinte genotipos de maíz (*Zea mays* L.), conformados por poblaciones mejoradas e híbridos, para determinar su aptitud en la producción de forraje y grano bajo las condiciones ambientales de Galeana, Nuevo León.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el desarrollo morfológico y las características físicas de la mazorca en los genotipos evaluados, con el fin de identificar los atributos distintivos que determinan el perfil estructural de cada material.
- Cuantificar la producción de biomasa en términos de forraje verde y seco para seleccionar los materiales con mayor potencial para el aprovechamiento en la alimentación del ganado regional.

- Determinar el rendimiento de grano de cada material genético para identificar los genotipos sobresalientes que logren un equilibrio óptimo entre la producción de grano y forraje (doble propósito) en la región sur de Nuevo León.

1.3 Hipótesis Ho

No existen diferencias estadísticas significativas en el comportamiento agronómico, el desarrollo morfológico, ni en el potencial de rendimiento de biomasa (forraje verde y seco) y grano entre los veinte genotipos de maíz (Poblaciones mejoradas e híbridos) evaluados bajo las condiciones ambientales de Galeana, Nuevo León.

1.4 Hipótesis Ha

Existen diferencias estadísticas significativas en el comportamiento agronómico, el desarrollo morfológico y el potencial de rendimiento de biomasa (forraje verde y seco) y grano entre los veinte genotipos de maíz (Poblaciones mejoradas e híbridos) evaluados bajo las condiciones ambientales de Galeana, Nuevo León.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Contexto global y cambio climático

El cambio climático se define como una modificación significativa y persistente en los valores promedio de elementos meteorológicos clave, como la temperatura y la precipitación, impulsada tanto por variaciones naturales como por actividades antropogénicas que elevan la concentración de gases de efecto invernadero (López-Hernández et al., 2025; Cruz-González et al., 2024). A nivel mundial, este fenómeno representa uno de los desafíos más críticos para la agricultura, sector que es simultáneamente contribuyente al calentamiento global y la principal víctima de la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos como sequías, inundaciones y olas de calor (Abbass et al., 2022; López-Hernández et al., 2025). En México, la temperatura promedio nacional ha registrado un aumento de 1.31 °C desde el año 1910, y las proyecciones para finales del siglo XXI sugieren incrementos de hasta 6 °C bajo escenarios de altas emisiones (SSP5-8.5), lo que pone en riesgo la estabilidad de múltiples ecosistemas (Cruz-González et al., 2024).

Las alteraciones climáticas impactan severamente los patrones de precipitación en el territorio mexicano, estimándose una disminución generalizada de hasta un 20% en la lluvia acumulada anual para el año 2100 (Cruz-González et al., 2024). La heterogeneidad en la distribución de la lluvia ya limita el rendimiento máximo de los cultivos y reduce la duración de los ciclos ontogénicos, obligando a los productores a modificar las fechas de siembra tradicionales (Morales-Ruiz y Díaz-López, 2020; Encinia-Bazaldúa, 2022). Particularmente en regiones áridas y semiáridas como la Comarca Lagunera, la escasez de agua se agrava progresivamente, intensificando la sequía y obligando a implementar estrategias de uso eficiente del agua, como el riego por goteo subsuperficial, para mitigar el déficit hídrico y garantizar la productividad (Yescas et al., 2015; López-Hernández et al., 2025).

Además del déficit hídrico, las temperaturas extremadamente altas durante etapas fenológicas críticas, como la polinización, representan una amenaza biológica mayor para el maíz. El estrés térmico durante la floración reduce drásticamente la viabilidad del polen y la receptividad de los estigmas, lo que se traduce en una falla en la fijación de granos y una caída significativa en el rendimiento final (Reyes-González et al., 2025). Se ha observado que temperaturas superiores a los 35 °C durante el amarre del grano disminuyen la eficiencia fotosintética y aceleran la senescencia de la planta, comprometiendo la seguridad alimentaria en regiones donde el maíz es el cultivo básico (Reyes-González et al., 2025; Cruz-González et al., 2024).

2.2 La demanda de la ganadería y el rol del maíz forrajero

La industria ganadera es uno de los pilares económicos de México, ocupando aproximadamente el 60% del territorio nacional para actividades pecuarias (Joaquín-Cancino et al., 2022). Esta actividad depende críticamente de la disponibilidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) como principal insumo nutricional para el ganado lechero y de carne, debido a su alto valor energético, palatabilidad y digestibilidad (Anaya-Salgado et al., 2025; Elizondo y Boschini, 2002). En regiones con cuencas lecheras de gran relevancia, como la Región Lagunera que aporta el 22% de la producción nacional de leche de vaca, el maíz forrajero ocupa la mayor parte de la superficie cultivada con riego, siendo vital para el sostenimiento del hato ganadero (Anaya-Salgado et al., 2025; Montemayor-Trejo et al., 2007).

La necesidad de incrementar la producción de biomasa de alta calidad nutricional exige que el forraje alcance un equilibrio óptimo entre el rendimiento de materia seca y la concentración de energía neta de lactancia. El maíz es considerado superior a otros cereales forrajeros debido a su capacidad para producir grandes volúmenes de materia seca y elementos digestibles por unidad de área, superando incluso a pasturas adaptadas (Elizondo y Boschini, 2002; Sánchez-Hernández et al., 2019). La calidad del ensilado resultante depende directamente del estado fisiológico al momento de la cosecha, recomendándose el corte

cuando el grano presenta un avance de entre 1/2 y 2/3 de la línea de leche para maximizar el contenido de carbohidratos solubles (Godina-Rodríguez et al., 2020; Lucio-Ruiz et al., 2023).

Sin embargo, la productividad del maíz forrajero está condicionada por el manejo agronómico, particularmente por el suministro de nitrógeno y la eficiencia en el uso del agua. El nitrógeno es el nutriente que más influye en el crecimiento vegetativo, participando en la síntesis de clorofila y en el desarrollo del área foliar, factores determinantes para la acumulación de biomasa (Anaya-Salgado et al., 2025; Contreras-Rendón et al., 2012). En zonas semiáridas, la optimización de estos recursos mediante densidades de población ajustadas (entre 80,000 y 110,000 plantas por hectárea) permite incrementar el rendimiento de forraje verde y materia seca sin comprometer los parámetros de calidad proteica (Yescas et al., 2015; Anaya-Salgado et al., 2025).

2.3 Germoplasma de maíces nativos

México es reconocido mundialmente como el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz, albergando una extraordinaria variabilidad genética distribuida en 64 razas nativas adaptadas a una amplia diversidad de nichos ecológicos (CONABIO, 2026). Estos maíces nativos, preservados por generaciones de agricultores, poseen una resiliencia intrínseca ante condiciones ambientales restrictivas y estrés abiótico, como la sequía y las altas temperaturas, lo que los convierte en una reserva invaluable de genes para el fitomejoramiento (Joaquín-Cancino et al., 2022; Godina-Rodríguez et al., 2020). En regiones del norte de México, los productores locales continúan utilizando poblaciones nativas que han demostrado rendimientos de forraje estables incluso en condiciones de temporal y baja fertilidad (Godina-Rodríguez et al., 2020; Lucio-Ruiz et al., 2023).

La arquitectura de los maíces nativos, caracterizada frecuentemente por un porte alto, tallos más gruesos y un mayor número de hojas, favorece una producción de biomasa verde elevada en comparación con híbridos comerciales seleccionados exclusivamente para rendimiento de grano (Sánchez-Hernández

et al., 2019; Lucio-Ruiz et al., 2023). Razas como Tuxpeño, Ratón, Olotillo y Vandeño presentan características morfológicas sobresalientes que inciden positivamente en el contenido de proteína y energía metabolizable del forraje (Joaquín-Cancino et al., 2022; Lucio-Ruiz et al., 2023). Estudios realizados en Tamaulipas indican que genotipos nativos como "Ratón x Tuxpeño Norteño" pueden superar en producción de materia seca a variedades mejoradas en sus lugares de origen bajo condiciones de estrés hídrico (Godina-Rodríguez et al., 2020; Lucio-Ruiz et al., 2023).

Socioeconómicamente, el uso de germoplasma nativo garantiza la soberanía alimentaria de los pequeños productores al reducir la dependencia de insumos externos y semillas comerciales costosas (Encinia-Bazaldúa, 2022). La variabilidad fenotípica de estas poblaciones permite identificar materiales con adaptación específica a ambientes "malos", donde los híbridos de alto potencial productivo no logran expresar su vigor debido a las limitaciones ambientales (Encinia-Bazaldúa, 2022; Rivas-Jacobo et al., 2020). Por lo tanto, la caracterización agronómica de estos maíces es un paso fundamental para optimizar su aprovechamiento y asegurar la conservación de la riqueza genética nacional frente a la acelerada erosión genética global (Encinia-Bazaldúa, 2022; Joaquín-Cancino et al., 2022).

2.4 Características de Galeana, Nuevo León y la Región Sur: Limitaciones y oportunidades en la producción forrajera

La región sur del estado de Nuevo León, integrada por los municipios de Galeana, Dr. Arroyo, Aramberri, General Zaragoza e Iturbide, representa la zona agrícola más relevante para el cultivo de maíz en la entidad, concentrando aproximadamente el 90% de su producción total. Galeana se caracteriza por una orografía de valles altos con altitudes que varían significativamente; por ejemplo, en localidades como Boca del Refugio se alcanzan los 2060 msnm, mientras que en la unidad académica de Aramberri la altitud es de 1970 msnm. Aunque existen clasificaciones climáticas generales que reportan seis tipos de climas para la región, predominando el templado subhúmedo y el seco templado, estudios

detallados de zonificación agroclimática han identificado la existencia de 12 nichos ecológicos específicos. Estos microclimas son determinados por variaciones en la temperatura, elevación y precipitación, lo que genera condiciones ambientales únicas a las cuales las poblaciones locales de maíz se han adaptado a través de procesos evolutivos (Encinia-Bazaldúa, 2022).

La producción de maíz forrajero en esta zona enfrenta limitaciones críticas de carácter climático, estructural y socioeconómico. El rendimiento promedio regional es de apenas 1.04 t ha^{-1} , una cifra drásticamente inferior a la media nacional de 3.51 t ha^{-1} (SIAP, 2026). Esta baja productividad se debe fundamentalmente a que el 93.2% de la superficie se cultiva bajo sistemas de temporal tradicional, donde la disponibilidad de humedad es sumamente errática, con precipitaciones anuales que en zonas como Aramberri promedian apenas los 300 mm. Además, el cambio climático ha incrementado la incertidumbre productiva, obligando a los agricultores a modificar sus fechas de siembra para evitar las heladas tempranas que pueden detener el ciclo biológico antes de la madurez fisiológica. A estas restricciones ambientales se suma que el 60% de la población rural vive en condiciones de pobreza, lo que limita severamente el acceso a insumos tecnificados, riego y semillas comerciales, las cuales solo son utilizadas por el 10.1% de los productores locales (Encinia-Bazaldúa, 2022).

A pesar de las restricciones, la región posee oportunidades estratégicas basadas en su vasta riqueza genética y adaptabilidad local. El sur de Nuevo León alberga una gran diversidad de maíces nativos agrupados en cinco razas puras: Tuxpeño, Cónico Norteño, Olotillo, Ratón y Tuxpeño Norteño, además de múltiples cruces interraciales. Estos genotipos han desarrollado una resiliencia intrínseca a la sequía, lo que les permite mantener una productividad estable en condiciones de baja fertilidad y estrés hídrico donde los híbridos comerciales no logran expresar su potencial. Socioeconómicamente, el germoplasma nativo garantiza la soberanía alimentaria de los pequeños productores al permitirles el uso continuo de su propia semilla cosechada, eliminando los costos de adquisición de semilla externa. La caracterización de estos materiales representa una base invaluable

para programas de fitomejoramiento que busquen identificar genotipos con interacciones positivas y estabilidad ambiental para optimizar la producción de biomasa en ambientes desfavorables (Encinia-Bazaldúa, 2022).

2.5 Híbridos experimentales y variedades mejoradas

El fitomejoramiento del maíz ha evolucionado hacia la generación de híbridos y variedades sintéticas que buscan maximizar el vigor híbrido o heterosis para obtener materiales con mayor estabilidad y potencial productivo (Pérez-López et al., 2024). Los híbridos modernos ofrecen ventajas significativas en términos de uniformidad agronómica, precocidad, resistencia al acame y tolerancia a plagas y enfermedades en comparación con las poblaciones nativas (Ocampo de Jesús et al., 2025; Ayvar-Serna et al., 2020). Se estima que el incremento sostenido en el rendimiento de estos materiales está supeditado en un 60% a su potencial genético y en un 40% a la aplicación de prácticas de manejo tecnificadas (Martínez-Gutiérrez et al., 2018).

En los Valles Altos de México y zonas tropicales, el uso de variedades sintéticas como la VS-536 y de híbridos de cruce trilineal como el H-520 y H-564C ha permitido superar los rendimientos promedio nacionales de biomasa (Sánchez-Hernández et al., 2019). Asimismo, la incorporación de tecnologías como la androesterilidad citoplásmica en híbridos (ej. TSIRI PUMA) facilita la producción de semilla a menor costo y permite redirigir los fotoasimilados, que normalmente se destinarían a la producción de polen, hacia el llenado de grano y la acumulación de biomasa, incrementando así el valor nutricional del forraje (Martínez-Gutiérrez et al., 2018).

No obstante, la interacción genotipo por ambiente (IGA) sigue siendo el factor determinante para el éxito de un material mejorado en un entorno específico. La estabilidad de un híbrido se evalúa mediante modelos estadísticos avanzados como AMMI y GGE-Biplot, los cuales permiten identificar genotipos con adaptabilidad específica a ambientes favorables y aquellos con estabilidad promedio que aseguran un rendimiento mínimo ante variaciones climáticas anuales (Andrio et al., 2023; Encinia-Bazaldúa, 2022). En la Comarca Lagunera,

híbridos como el SB302 y RX715 han demostrado ser altamente eficientes bajo condiciones de riego, logrando rendimientos de grano de hasta 15.8 t ha⁻¹, lo que subraya la importancia de la evaluación constante de nuevos genotipos para garantizar la competitividad de la industria ganadera (Borroel-García et al., 2018; Guamán-Guamán et al., 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio de evaluación

El estudio se llevó a cabo en el terreno del Campo Experimental “Ing. Humberto Treviño Siller” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Galeana, Nuevo León. Esta localidad presenta una altitud de 1,891 m, de clima templado, con temperaturas promedio de 18 °C y máximas de 34 °C durante el verano, con medias de 10 °C y con una precipitación promedio anual de 425 mm.

3.2 Material genético

En el Cuadro 1 se muestra la lista de los 20 genotipos de maíces que se evaluaron en este estudio, los cuales correspondieron a 10 poblaciones mejoradas pertenecientes a la UAAAN y 10 híbridos simples formados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas (CEHUAS).

3.3 Diseño experimental

Los genotipos se establecieron bajo el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales consistieron en cinco camas de 5 m de longitud, con separación de 0.90 m, con una hilera de siembra por cama, para una superficie total de 22.5 m².

3.4 Manejo agronómico

Se realizaron las actividades de labranza del suelo con un paso de subsuelo y uno de barbecho a 25 cm de profundidad, dos pasos de rastra a 20 cm y se marcaron los surcos con cultivadora a 0.90 m, posteriormente se elaboraron las camas de siembra con un implemento de acamadora. La siembra se realizó manualmente el día 19 de mayo durante el ciclo agrícola primavera-verano 2023 (P-V 2023), se depositó la semilla al centro sobre cada cama de siembra y posteriormente se cubrió la semilla con tierra. La densidad de población fue de 74,074 semillas ha⁻¹.

Cuadro 1. Materiales genéticos de maíces híbridos y poblaciones mejoradas.

TRATAMIENTO	GENOTIPO	TIPO
1	UAN22 CB-ROSA	Población
2	ASGROW22 BERRENDO (Testigo)	Híbrido
3	OC22 PB1 AMARILLO	Población
4	OCT22 134X127 BCO BCO	Población
5	OC22 134 X 133 BLANCO	Población
6	UAN20 SELEC2#	Población
7	OC22 LOPE GARCIA MARCEÑO#	Población
8	TULA2022 OLOTILLO1	Población
9	OCT2022 AMARILLO POB2	Población
10	OC22 4055	Población
11	P1GA#-287-8 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
12	P1GA#-287-10 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
13	P2GA#-288-34 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
14	P2GA#-288-40 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
15	P2GA#-288-58 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
16	P3GA#-289-61 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
17	P4GA#-290-100 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
18	P4GA#-290-102 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
19	P4GA#-290-120 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido
20	P5GA#-292-193 X LRB-3A RBA 2021/2022	Híbrido

La fertilización total que se aplicó fue de 275 kg de nitrógeno (N), 132 kg de fósforo (P) y 24 kg de azufre (S) por hectárea. La cual se aplicó en dos etapas, la primera a la siembra con el 30% del N, la totalidad del P y S, la segunda en la etapa de V7 con el 70% de N restante, las fuentes de fertilizantes fueron Urea, fosfato monoamónico (MAP) y Sulfato de amonio. Después se colocó la cintilla de riego para cada cama de siembra y se aplicó el riego de nacencia y posteriormente se programaron los riegos cada 8 días hasta la etapa de R3.

Para el control de malezas de hoja ancha y angosta se aplicó 2,4-D Amina a razón de 2.0 L ha⁻¹, cuando las malezas presentaron entre dos y tres hojas verdaderas, además se realizó control mecánico durante la etapa V7 cuando se realizó la segunda fertilización mediante una vertedera que ayudó a eliminar malezas entre las camas de siembra.

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Variables morfológicas

3.5.1.1 La altura de planta (AP): se registró midiendo la distancia longitudinal desde la base del tallo, a nivel del suelo y hasta el nudo de la inserción de la panícula. Para esta determinación se utilizó una cinta métrica flexible y los valores se expresaron en cm.

3.5.1.2 La altura de mazorca (AM): se determinó midiendo desde la base de la planta hasta el nudo en donde se originó la mazorca superior en el tallo y se expresó en cm.

3.5.2 Componentes de la mazorca

3.5.2.1 La longitud de mazorca (LMZ): se evaluó midiendo desde la base hasta el ápice donde termina la mazorca, empleando para ello una cinta métrica flexible y los valores se registraron en cm.

3.5.2.2 El diámetro de mazorca (DMZ): se registró mediante el uso de un vernier, tomando la medida en la parte media de la mazorca y se expresó en cm.

3.5.2.3 El número de hileras por mazorca (HILMZ) y el número de granos por hilera (GRAHIL): se obtuvieron mediante el conteo directo de las filas y de los granos presentes en una hilera representativa, para ello se tomaron tres mazorcas representativas de cada unidad experimental.

3.5.2.4 El peso de mazorca (PMZ): se determinó utilizando una balanza digital con aproximación a gramos, pesando las mazorcas recolectadas de dos surcos centrales de cada unidad experimental.

3.5.2.5 El peso de grano por mazorca (PGRA): se estimó desgranando las tres mazorcas representativas de cada unidad experimental y pesando el material obtenido, el cual representó la relación entre el peso del grano y el peso total de la mazorca.

3.5.3 Rendimiento de forraje y grano

3.5.3.1 El rendimiento de forraje verde (RENDFV): se determinó mediante el peso total de 10 plantas de maíz cosechadas en una hilera de cada parcela, realizando el corte a una altura de 15 cm sobre el nivel del suelo. Los resultados se expresaron en kilogramos por metro cuadrado para su posterior conversión a kg ha^{-1} .

3.5.3.2 El rendimiento de forraje seco (RENDFS): se tomaron muestras representativas de la biomasa verde de 1 kg posteriormente se sometieron a secado en un asoleadero y hasta que se alcanzó un peso constante. Con los datos de peso seco y peso verde se calculó el porcentaje de materia seca, el cual se multiplicó por el RENDFV para estimar la productividad total de materia seca en kg ha^{-1} .

3.5.3.3 El rendimiento de grano (RENDGR): es la producción estimada en kilogramos por hectárea de grano al 14 % de humedad. Del total de mazorcas cosechadas se tomó aleatoriamente una muestra representativa de 250 gr de grano para determinar el contenido de humedad al momento de la cosecha con el determinador de humedad de la marca Agratronix MT-Pro®, esto en cada

parcela. Se calculó el porcentaje de materia seca por diferencia con el 100 por ciento.

El peso seco se estimó al multiplicar el porcentaje de materia seca por el peso de campo.

Finalmente, el rendimiento en grano se estimó para cada parcela con su respectivo porcentaje de humedad, se obtuvo al multiplicar el peso seco por el factor de conversión (FC) a kg ha^{-1} .

$$FC = \frac{10,000 \text{ m}^2}{APU \times 0.84 \times 1000}$$

Donde:

APU = Área de parcela útil, determinado por la distancia entre surcos por la distancia de estos y por el número de plantas por parcela.

0.84 = Constante para obtener el rendimiento 14.0 % de humedad.

1000 = Coeficiente para obtener el rendimiento en t ha^{-1} , sin embargo, los reportados para este estudio fueron en kilogramos por hectárea, por lo tanto, se realizó la conversión correspondiente.

10,000 m^2 = Equivalencia a una hectárea.

3.6 Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza ($P \leq 0.01$), y pruebas de comparación de medias con DMS ($\alpha = 0.05$) mediante el paquete estadístico SAS versión 9.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis general

El Análisis de varianza (ANVA) demostró que el modelo estadístico lineal empleado en el diseño de bloques completos al azar (DBCA) fue eficiente para explicar la variabilidad fenotípica observada en el material genético de maíz evaluado. Los coeficientes de determinación (R^2) oscilaron entre 0.55 y 0.80, valores considerados robustos para ensayos agronómicos bajo condiciones de campo.

La existencia de diferencias estadísticas altamente significativas en la fuente de variación de genotipos para la totalidad de las características analizadas confirma la presencia de una amplia diversidad genética de los progenitores o poblaciones. Lo anterior, es un aspecto fundamental que valida los criterios de selección para el inicio de un programa de mejoramiento.

4.2 Análisis de varianza para rendimiento de forraje y variables morfológicas

El ANVA para el rendimiento de forraje verde (RENDFV) detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los genotipos evaluados (Cuadro 2). Por el contrario, la fuente de variación de bloques no mostró efectos significativos, indicando una adecuada homogeneidad del terreno respecto a esta variable. La media general del experimento fue de 39,450.50 kg ha⁻¹, registrando un coeficiente de variación (C.V.) del 23.30 % y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.61. Por otro lado, para la variable de rendimiento de forraje seco (RENDFS) exhibió variaciones altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre genotipos y no significativas para bloques, manteniendo un C.V. de 23.30% y R^2 de 0.61 (valores idénticos al RENFV), sin embargo, se obtuvo una media general de 13,807.7 kg ha⁻¹. Estos resultados son similares con Velasco-Macias et al. (2022), quienes obtuvieron contrastes en la fuente de variación de los genotipos para rendimiento de materia verde (RMV) y rendimiento de materia seca (RMS), así mismo,

reportaron una media de 59,355.36 kg ha⁻¹ en RMV y 15,382.19 kg ha⁻¹ RMS, respectivamente. Los resultados obtenidos en el presente estudio nos revelan que los materiales muestran amplia diversidad genética, por lo tanto, pueden ser aprovechados en un programa de mejoramiento genético enfocado a calidad forrajera en verde y seco para la zona del noreste de México.

Cuadro 2. Cuadrados medios del ANVA para rendimiento de forraje y variables morfológicas en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.

FV	GL	RENDFV	RENDFS	AP	AM
Bloques	2	205917339.00	25224142.00	1429.80*	2549.01**
Genotipos	19	247912309.00**	30369215.50**	1785.29**	1884.95**
Error	38				
C.V en %		23.30	23.30	12.00	18.50
R ²		0.61	0.61	0.70	0.80
M.G.		39450.50	13807.60	167.00	85.50

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; RENDFV= Rendimiento de forraje verde en kg ha⁻¹; RENDFS= Rendimiento de forraje seco en kg ha⁻¹; AP= Altura de las plantas en cm; AM= Altura de mazorca en cm; C.V.= Coeficiente de variación en porcentaje; R²= Coeficiente de determinación; M.G.= Media general.

Con relación a las variables morfológicas en la variable altura de planta (AP), el análisis estadístico indicó efectos altamente significativos ($P \leq 0.01$) entre los genotipos, sin embargo, la fuente de variación correspondiente a los bloques resultó significativa ($P \leq 0.05$), sugiriendo una ligera influencia de los gradientes ambientales edáficos sobre el crecimiento de las plantas (Cuadro 2). La variable registró una media general de 167.00 cm y un C.V. de 12.00%. Por otro lado, la altura de la mazorca (AM) mostró variaciones altamente significativas ($P \leq 0.01$) en la fuente de variación de genotipos y bloques. El análisis del modelo lineal mostró para esta variable su coeficiente de determinación más elevado ($R^2 = 0.80$), con una media general de 85.50 cm y un C.V. de 18.50%. La altura de

planta y de la mazorca son características fundamentales para determinar el volumen de la biomasa de cada genotipo, por ello, estas variables tienen una correlación alta para obtener altos rendimientos de forraje verde y seco, al acumular mayor biomasa en su proceso fisiológico. Al respecto, Tucuch-Cauich et al. (2011) mencionan que la altura de planta y de la mazorca sirven como indicadores en un genotipo para predecir la potencialidad genética del rendimiento en forraje verde y seco.

4.3 Medias para rendimiento de forraje verde y variables morfológicas

En cuanto a forraje verde (Cuadro 3) de acuerdo con la prueba de comparación de medias DMS ($\alpha = 0.05$; valor crítico DMS = 15,235.00 kg ha⁻¹), el genotipo 7 se consolidó estadísticamente como el material superior con la mayor producción de biomasa, alcanzando una media de 57,084.00 kg ha⁻¹ (Grupo A). Este material genético superó significativamente a la mayoría de los materiales evaluados, compartiendo similitud estadística únicamente con el genotipo 8 (54,225.00 kg ha⁻¹) y el genotipo 2 (51,711.00 kg ha⁻¹), los cuales se posicionaron en el primer grupo superior. Por otro lado, los genotipos con el menor potencial forrajero en verde fueron el 17 y el 18, con medias de 25,520.00 y 26,459.00 kg ha⁻¹, respectivamente. En un estudio realizado por Díaz-Chuquizuta et al. (2026) presentaron valores de forraje verde que oscilaron entre 43.36 y 51.99 t ha⁻¹. Por otro lado, Velasco-Macias et al. (2022) reportaron de 32,556 a 70,202 kg ha⁻¹, para forraje verde en nuevos híbridos de maíz recomendados para valles altos. Al comparar estos trabajos con nuestro estudio se observa discrepancia en los resultados obtenidos, lo anterior, se infiere al fondo genético de los materiales que utiliza cada investigador, además, a las diferentes condiciones ambientales donde fueron evaluadas.

Cuadro 3. Medias para rendimiento de forraje y variables morfológicas en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.

GENOTIPOS	RENDFV	AP	AM
1	50384.00 abcd	209.60 a	128.00 a
2	51711.00 abc	172.60 cde	80.60 bc
3	44234.00 abcdef	166.00 cde	91.30 b
4	41777.00 bcdef	150.60 def	84.30 bc
5	39319.00 bcdefg	154.60 def	81.00 bc
6	45824.00 abcde	196.60 abc	125.30 a
7	57084.00 a	215.60 a	143.00 a
8	54225.00 ab	206.00 ab	125.00 a
9	35336.00 defg	190.60 abc	90.00 bc
10	34517.00 efg	156.30 def	79.60 bc
11	30939.00 efg	155.30 def	66.00 bcd
12	36713.00 cdefg	150.60 def	65.60 bcd
13	43805.00 abcdef	157.00 def	65.00 bcd
14	34182.00 efg	154.30 def	69.00 bcd
15	39295.00 bcdefg	174.00 bcd	82.60 bc
16	36709.00 cdefg	140.60 ef	64.00 cd
17	25520.00 g	150.60 def	83.30 bc
18	26459.00 g	155.00 def	80.60 bc
19	31737.00 efg	157.30 def	75.60 bcd
20	29239.00 fg	126.00 f	51.00 d
MEDIA	39450.50	167.00	85.50
DMS	15235.00	33.20	26.50

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes; RENDFV= Rendimiento de forraje verde en kg ha⁻¹; RENDFS= Rendimiento de forraje seco en kg ha⁻¹; AP= Altura de las plantas en cm; AM= Altura de mazorca en cm; DMS= Diferencia mínima significativa.

Para las variables morfológicas en cuanto a la expresión de altura de planta, la prueba DMS determinó que los genotipos superiores fueron el genotipo 7 y el genotipo 1, con promedios de 215.60 cm y 209.60 cm, respectivamente (Cuadro 3). Estos materiales mostraron un desarrollo estructural sobresaliente, ideal para fines forrajeros, diferenciándose significativamente del genotipo 20, el cual se comportó como el material más bajo o de porte enano, con una media de 126.00 cm. De igual manera para la altura de mazorca, la prueba de medias demostró que los genotipos 7, 1 y 6 lideraron el grupo superior, promediando 143.00 cm, 128.00 cm y 125.30 cm, respectivamente. El comportamiento diferencial de esta variable entre los bloques constata la sensibilidad de este carácter ante microvariaciones del entorno, mientras que el genotipo 20 registró la altura más baja con una media de 51.00 cm. Los resultados encontrados son interesantes al considerar que las variables de AP y AM de un maíz forrajero tienen una correlación positiva con la producción de biomasa, sin embargo, se debe considerar que un genotipo con alturas excesivas, se presentan problemas de acame de raíz y tallo, por ende, ocasiona pérdidas de forraje, además, tiende a dificultar las labores de manejo o cosecha, por lo tanto, los costos de producción se incrementan (Dittel-Pérez et al., 2022; Sánchez e Hidalgo, 2018)

En ese sentido, los genotipos 7, 8 y 2 pueden ser aprovechados por los productores de la región noreste de México, debido a que presentaron valores elevados en RENDFV, AP y AM. Asimismo, pueden emplearse en programas de mejoramiento genético como progenitores o poblaciones base para la generación de nuevo germoplasma con fines forrajeros.

4.4 Análisis de varianza para rendimiento de grano y componentes de la mazorca

El rendimiento de grano (RENDGR) mostró diferencias significativas entre genotipos ($P \leq 0.05$), mientras que los bloques no influyeron de manera

significativa (Cuadro 4). El promedio del ensayo fue de 9,429.56 kg ha⁻¹, con un C.V. de 18.17% y un R² de 0.55. Los resultados encontrados fueron superiores a la media general nacional con 3.70 t ha⁻¹, asimismo, superior donde se llevó a cabo el estudio (Galeana, Nuevo León) con 1.04 t ha⁻¹ (SIAP, 2026). En ese sentido se infiere que existen materiales competentes en rendimiento de grano que pueden ser recomendados y aprovechados por los productores de esta región.

En los componentes de mazorca, la longitud (LMZ), el diámetro (DMZ), el número de hileras por mazorca (HILMZ) y el número de granos por hilera (GRAHIL) presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre genotipos, evidenciando un fuerte control genético y baja influencia ambiental, respaldado por coeficientes de variación relativamente bajos. Las medias generales fueron de 16.16 cm para LMZ, 4.30 cm para DMZ, 14.10 hileras para HILMZ y 32.54 granos para GRAHIL, datos que concuerdan con Hernández et al. (2024) para las variables de diámetros de mazorca, longitud de mazorca y número de hileras al reportar medias de 14.1, 4.2 y 14.6, respectivamente. En conjunto, estos resultados evidencian que los componentes de mazorca evaluados constituyen criterios confiables para la selección de genotipos superiores, dado que presentan variabilidad genética suficiente y estabilidad relativa frente al ambiente.

Por otro lado, el peso total de mazorca (PMZ) y el peso de grano por mazorca (PGRA) también registraron diferencias altamente significativas entre genotipos, además de efectos significativos de los bloques ($P \leq 0.05$), indicando influencia tanto genética como ambiental. Las medias obtenidas fueron de 0.14 kg para PMZ y 0.12 kg para PGRA, con coeficientes de variación de 17.93% y 19.40%, respectivamente, y valores de R² de 0.70 y 0.71, respectivamente, lo que refleja una adecuada capacidad explicativa del modelo experimental. Los hallazgos confirman que existe potencial para identificar genotipos superiores con mejores características productivas relacionadas con el rendimiento de mazorca y grano.

Cuadro 4. Cuadrados medios del ANVA para rendimiento de grano y componentes de la mazorca en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.

FV	GL	RENDGR	LMZ	DMZ	HILMZ	GRAHIL	PMZ	PGRA
Bloques	2	6695173.60	4.72	0.153	1.800	26.563	0.003*	0.002*
Genotipos	19	6701125.10*	5.86**	0.293**	6.494**	51.351**	0.002**	0.002**
Error	38							
C.V en %		18.17	7.86	5.94	10.05	11.79	17.93	19.40
R ²		0.55	0.66	0.70	0.62	0.64	0.70	0.71
M.G.		9429.56	16.16	4.30	14.10	32.54	0.14	0.12

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; RENDGRA= Rendimiento de granos en t ha⁻¹; LMZ= Longitud de mazorca en cm; DMZ= Diámetro de mazorca en cm; HILMZ= Número de hileras por mazorca; GRAHIL = número de granos por hilera; PMZ= Peso de mazorca en kg; PGRA= Peso de granos por mazorca en kg; C.V.= Coeficiente de variación en porcentaje; R² = Coeficiente de determinación; M.G.= Media general.

4.5 Medias para componentes de la mazorca

En el cuadro 5 y 6 se presentan las medias de los componentes físicos de la mazorca. En ese sentido, los genotipos superiores para longitud de mazorca (LMZ) fueron el genotipo 8 y el genotipo 1, registrando valores promedio de 18.00 cm y 17.90 cm, respectivamente. Por otro lado, el genotipo 10 obtuvo la menor longitud con una media de 14.20 cm. En cuanto a diámetro de mazorca (DMZ) se identificó como genotipos superiores al genotipo 2 con un diámetro de 4.80 cm y al genotipo 6 con 4.70 cm. Por el contrario, el genotipo de mazorca más delgada fue el genotipo 7 (3.50 cm), comportamiento característico en materiales con aptitud preferentemente forrajera. Con respecto a número de hilera de mazorca (HILMZ), se observó que el genotipo 2 destacó de forma contundente sobre el resto del germoplasma al registrar el promedio superior con 16.60 hileras. Asimismo, los genotipos 6, 13 y 16 compartieron el grupo de genotipos superiores al estabilizarse con una media de 16.0 hileras cada uno. En cambio,

las menores tasas se observaron en los genotipos 7 (10.60 hileras) y 8 (11.30 hileras). La media general reportada en este estudio es similar a la descrita por Martínez et al. (2024), quienes informaron valores de 14.9 cm para la longitud de mazorca, 4.3 cm para el diámetro de mazorca y 14.0 hileras por mazorca. Es importante resaltar que estas características tienen una correlación alta para que un genotipo revele rendimientos altos.

Por otro lado, la separación de medias DMS en número de granos por hilera (GRAHIL) determinó que este importante componente del rendimiento fue liderado de manera sobresaliente por el genotipo 8, alcanzando la media superior de 40.80 granos por hilera, seguido en el orden de selección por el genotipo 1 con 36.60 granos, sin embargo, el cultivar con menor número de granos por hilera fue el genotipo 20, con un promedio de 25.50. En un estudio realizado por Borroel-García et al. (2018) reportaron valores que oscilaron de 31.6 a 36.1 granos por hileras, obteniendo una media de 33.7, respectivamente.

En cuanto a peso de la mazorca (PMZ) y peso de grano por mazorca (PGRA), se observa una clara consistencia en el comportamiento de los genotipos, lo que sugiere una relación estrecha entre ambos componentes del rendimiento. Bajo ese contexto los genotipos 1 y 15 destacan de manera reiterada como los materiales superiores en ambos caracteres evaluados. El genotipo 1 presenta el mayor desempeño, con un PMZ de 0.19 kg y un PGRA de 0.16 kg, seguido por el genotipo 15 con valores de 0.17 kg y 0.14 kg, respectivamente. Esta superioridad indica que ambos genotipos poseen una mayor capacidad de acumulación de biomasa en la mazorca y una mejor eficiencia en el llenado de grano, lo cual los posiciona como candidatos promisorios para programas de mejoramiento genético orientados al incremento del rendimiento. En contraste, el genotipo 20 mostró consistentemente los valores más bajos en ambas variables (0.08 kg en PMZ y 0.06 kg en PGRA), lo que evidencia un desempeño inferior y sugiere limitaciones en su potencial productivo. Esta baja respuesta podría estar asociada a menor eficiencia fisiológica, menor número de granos o menor capacidad de llenado.

Cuadro 5. Medias para componentes de la mazorca en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.

GENOTIPOS	LMZ	DMZ	HILMZ
1	17.90 a	4.60 abcd	14.00 bcd
2	16.30 abcd	4.80 a	16.60 a
3	16.70 abc	4.30 bcdef	14.60 abc
4	13.70 fg	4.40 abcde	15.30 abc
5	13.00 g	4.40 abcde	14.00 bcd
6	17.50 ab	4.70 ab	16.00 ab
7	16.50 abcd	3.50 h	10.60 f
8	18.00 a	3.90 fg	11.30 ef
9	16.60 abc	4.20 cdefg	14.60 abcd
10	14.20 efg	4.10 efg	12.60 def
11	16.30 abcde	4.20 defg	15.30 abc
12	16.00 abcde	4.30 bcdef	14.60 abcd
13	16.30 abcde	4.40 abcde	15.30 abc
14	16.50 abcd	4.20 defg	13.30 cde
15	17.00 abc	4.40 abcde	13.30 cde
16	17.00 abc	4.60 abc	15.30 abc
17	17.80 ab	4.20 defg	14.00 bcd
18	15.00 cdefg	4.30 bcdef	14.00 bcd
19	15.80 bcdef	3.90 fg	13.30 cde
20	14.50 defg	3.80 gh	13.30 cde
MEDIA	16.16	4.30	14.00
DMS	2.10	0.42	2.34

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes; LMZ= Longitud de mazorca en cm; DMZ= Diámetro de mazorca en cm; HILMZ= Número de hileras por mazorca; DMS= Diferencia mínima significativa.

Cuadro 6. Medias de componentes de rendimiento de grano en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.

GENOTIPOS	GRAHIL	PMZ	PGRA
1	36.60 abc	0.19 a	0.16 a
2	36.30 abc	0.18 ab	0.16 abc
3	34.40 bcd	0.15 abcde	0.12 bcdef
4	28.10 defg	0.13 cdef	0.11 defg
5	26.20 fg	0.11 fg	0.08 ghi
6	33.40 bcd	0.18 a	0.16 ab
7	36.00 abc	0.08 g	0.07 hi
8	40.80 a	0.15 abcde	0.12 bcdef
9	30.40 cdefg	0.15 abcde	0.12 cdef
10	33.40 bcde	0.12 defg	0.10 efghi
11	31.20 bcdefg	0.13 cdef	0.10 efgh
12	28.60 defg	0.14 bcdef	0.11 defg
13	33.20 bcde	0.16 abc	0.13 abcde
14	36.80 ab	0.15 abcd	0.13 abcde
15	37.10 ab	0.17 abc	0.14 abcd
16	33.10 bcde	0.16 abc	0.13 abcde
17	32.30 bcdef	0.14 bcdef	0.12 defg
18	29.50 defg	0.14 cdef	0.12 defg
19	27.20 efg	0.11 efg	0.09 fghi
20	25.50 g	0.08 g	0.06 i
MEDIA	32.54	0.14	0.12
DMS	6.35	0.04	0.03

Valores con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes; GRAHIL = número de granos por hilera; PMZ= Peso de mazorca en kg; PGRA= Peso de granos por mazorca en kg; DMS= Diferencia mínima significativa.

4.6 Comparación gráfica de medias para rendimiento de forraje y rendimiento de grano

En la variable de forraje seco, la prueba de rango múltiple DMS ($\alpha = 0.05$; valor crítico DMS = 5,332.3 kg ha⁻¹) confirmó que la acumulación de materia seca replicó fielmente el comportamiento de la biomasa verde. El genotipo 7 refrendó su superioridad agronómica con un promedio de 19,979 kg ha⁻¹ (Grupo A). Este cultivar se ubicó en el estrato estadístico más alto junto con los genotipos 8 (18,979 kg ha⁻¹; Grupo AB), 2 (18,099 kg ha⁻¹; Grupo ABC) y 1 (17,634 kg ha⁻¹; Grupo ABCD), conformando el bloque de genotipos superiores para la producción de forraje seco (Figura 1a). Los resultados obtenidos superan a los reportados por Díaz-Chuquizuta et al. (2026), quienes registraron un rendimiento máximo de 15.22 t ha⁻¹ de forraje seco en el genotipo INIA 624-KILLU SUK. No obstante, los valores observados en este estudio son similares a los informados por Velasco-Macías et al. (2022), quienes reportaron al híbrido Tlaoli Puma con un rendimiento de 19,615 kg ha⁻¹ como el material de mayor desempeño. En otro estudio realizado por Tadeo-Robledo et al. (2012) quienes registraron valores de 22.4 a 34.2 t ha⁻¹, las diferencias podrían atribuirse a factores como las condiciones ambientales, manejo agronómico, disponibilidad hídrica, densidad de población y el tipo de germoplasma utilizado. En contraste, los resultados obtenidos son más cercanos a los señalados por Wong-Romero et al. (2006), quienes reportaron una producción de 20.80 t ha⁻¹, lo que indica que el comportamiento observado en este estudio se encuentra dentro de rangos productivos aceptables para materiales destinados a forraje. Estos resultados sugieren que dichos materiales poseen características agronómicas favorables para la acumulación de biomasa, aspecto de gran relevancia en sistemas pecuarios donde el volumen y calidad del forraje son determinantes para la alimentación animal.

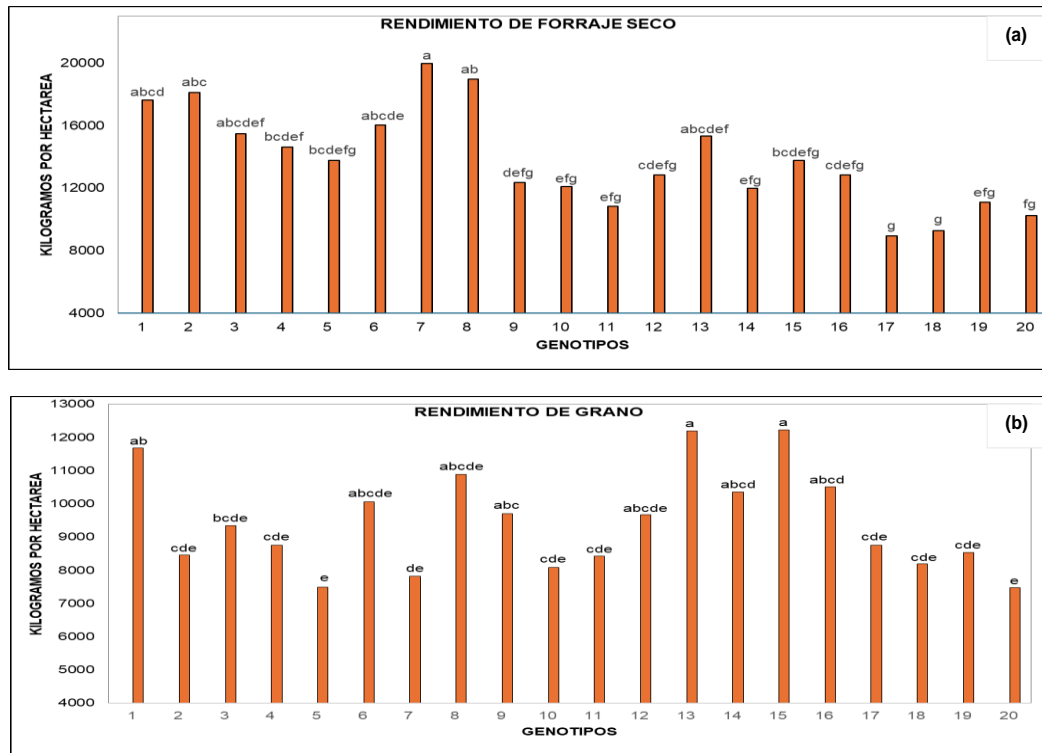


Figura 1. Medias de rendimiento de forraje seco (a) y rendimiento de grano (b) en Navidad, Galeana, Nuevo León. Ciclo P-V 2023.

Con relación al rendimiento de grano, los genotipos 15, 13, 1, 8, 16, 14, 6, 9 y 12 sobresalieron con valores superiores a $9,671 \text{ kg ha}^{-1}$, alcanzando el genotipo 15 el mayor rendimiento con $12,228 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 1b). Estos resultados reflejan un buen potencial productivo y muestran que varios de los materiales evaluados podrían representar alternativas viables para incrementar la productividad de maíz en la región. Los rendimientos obtenidos fueron superiores a los reportados por Tadeo-Robledo et al. (2012) quienes registraron valores de entre $5,059$ y $9,549 \text{ kg ha}^{-1}$, lo que podría indicar una mejor adaptación de ciertos genotipos evaluados a las condiciones locales. Por otro lado, Borroel-García et al. (2018) observaron que genotipos como Caimán, RX715, Oso y SB302 obtuvieron los mayores rendimientos de grano, 14.52 a 15.84 t ha^{-1} .

En contraste, el genotipo 20, con $7,469 \text{ kg ha}^{-1}$, mostró un desempeño significativamente inferior. Esta baja productividad podría estar relacionada con limitaciones en su arquitectura de planta, menor eficiencia reproductiva o menor

adaptación al ambiente de evaluación. La diferencia marcada entre este genotipo y los de alto rendimiento sugiere una respuesta diferencial al ambiente y/o a la capacidad genética intrínseca de cada material, tal como lo menciona Cruz y Regazzi (2001) que la estabilidad de un genotipo es la capacidad de mostrar un comportamiento constante o predecible en diferentes ambientes y que el rendimiento es una característica genética que está correlacionada con los estímulos ambientales y se expresa como una interacción genotipo por ambiente (IGA) positiva o negativa.

Un aspecto relevante del estudio fue la identificación de genotipos con aptitud de doble propósito, particularmente los genotipos 1, 8, 6 y 13, los cuales mostraron un desempeño sobresaliente tanto en producción de forraje seco como en rendimiento de grano. Esta característica representa una ventaja importante para los productores, ya que permite mayor flexibilidad en el uso de estos genotipos, ya sea para alimentación animal, producción de grano o ambos objetivos simultáneamente. En este sentido, dichos materiales podrían considerarse candidatos promisorios para programas de recomendación y transferencia tecnológica en sistemas de producción agropecuarios de la región.

V. CONCLUSIONES

El análisis estadístico demostró una amplia diversidad de caracteres entre las poblaciones de la UAAAN y los híbridos del INIFAP. En cuanto a la caracterización morfológica, se identificó un desarrollo estructural contrastante, donde los genotipos 7 y 1 destacaron con un porte alto superior a los 200 cm, ideal para fines forrajeros, mientras que el genotipo 20 presentó un comportamiento de porte enano con apenas 126 cm, demostrando cómo la arquitectura de la planta define el perfil de cada material.

Respecto al potencial de biomasa, el genotipo 7 (OC22 LOPE GARCIA MARCEÑO#) se consolidó como el material superior, logrando los rendimientos más elevados tanto en forraje verde ($57,084 \text{ kg ha}^{-1}$) como en forraje seco ($19,979 \text{ kg ha}^{-1}$). Otros materiales como los genotipos 8, 2 y 1 también integraron el grupo de élite productiva, superando significativamente la media general del estudio y validando su aptitud para incrementar la disponibilidad de forraje en la región sur de Nuevo León.

En la evaluación del rendimiento de grano, los genotipos 15, 13 y 1 sobresalieron con productividades superiores a los $11,600 \text{ kg ha}^{-1}$, destacando el genotipo 15 con el máximo rendimiento de $12,228 \text{ kg ha}^{-1}$. Estos resultados son de gran relevancia técnica, ya que dichos materiales superaron con amplio margen el promedio general del ensayo ($9,429.6 \text{ kg ha}^{-1}$) y se posicionan como genotipos idóneos para maximizar los rendimientos por unidad de superficie en la región sur de Nuevo León.

Finalmente, la relevancia de este estudio para el sur de Nuevo León radica en la identificación de materiales con doble propósito, como los genotipos 1, 8, 6 y 13 que figuran en los grupos superiores tanto de forraje seco como de grano. Dado que la productividad regional de temporal es drásticamente baja (1.04 t ha^{-1}), el uso de estos genotipos evaluados bajo manejo tecnificado representa una oportunidad estratégica para mitigar los efectos del cambio climático, optimizar la producción pecuaria y garantizar la seguridad alimentaria en la zona.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559.
- Anaya-Salgado, A., Quevedo-Nolasco, A., Bolaños-González, M. A., Flores-Velázquez, J., Reyes-González, A., Santana-Espinoza, S., Maltos-Buendía, J., Sánchez-Duarte, J. I., & Maldonado-Jaquez, J. A. (2025). The Water Efficiency and Productivity of Forage Maize (*Zea mays* L.) in a Semi-Arid Region Under Different Humidity, Nitrogen, and Substrate Levels. *Crops*, 5, 22-37.
- Andrío, E., Rodríguez-Pérez, G., García-Ramírez, A., Reynaga-Franco, F., Mendivil-Mendoza, J., Ochoa, A., y Cervantes-Ortiz, F. (2023). Rendimiento y componentes agronómicos en híbridos de maíz morado (*Zea mays* L.) usando el modelo AMMI. *Anales Científicos*, 84(1), 54-67.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., y Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38, 9-16.
- Borroel-García, V. J., Salas-Pérez, L., Ramírez-Aragón, M. G., López-Martínez, J. D., y Luna-Anguiano, J. (2018). Rendimiento y componentes de producción de híbridos de maíz en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 423-429.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. (2026). <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz> Consultado: mayo 2026.

- Contreras-Rendón, A., Martínez-Rueda, C. G., y Estrada-Campuzano, G. (2012). Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2), 161-169.
- Cruz, C.D. y Regazzi, A.J. (2001). Modelos biométricos aplicados al mejoramiento genético. Universidade Federal de Vicosa. Ed. UFV. Vicosa, Minas Gerais, Brasil 2da ed. 390p.
- Cruz-González, A., Monterroso-Rivas, A. I., Conde-Álvarez, C., y Rosales-Gómez, R. (2024). Impactos del cambio climático en la producción de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(1), e3327.
- Díaz-Chuquizuta, P., Durand-Chávez, L. M., Jara-Calvo, T. W., y Valdés-Rodríguez, O. A. (2026). Productividad forrajera de cultivares de maíz en el trópico seco. *Bioagro*, 38(1), 469-480. <http://www.doi.org/10.51372/bioagro381.7>
- Dittel-Pérez, M. F., Brenes-Gamboa, S., y Sánchez-Ledezma, W. (2022). Potencial forrajero de variedades de maíces costarricenses. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 23(47), 101-125.
- Elizondo, J., y Boschini, C. (2002). Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana*, 13(1), 13-17.
- Encinia-Bazaldúa, J. D. (2022). Análisis de interacción genotipo por ambiente en maíces nativos de la zona sur de Nuevo León [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Facultad de Agronomía. General Escobedo, N.L.
- Godina-Rodríguez, J. E., Garay-Martínez, J. R., Mendoza-Pedroza, S. I., Joaquín-Cancino, S., Rocandio-Rodríguez, M., y Lucio-Ruiz, F. (2020). Rendimiento

de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(24), 59-68.

Guamán-Guamán, R. N., Desiderio-Vera, T. X., Villavicencio-Abril, Á. F., Ulloa-Cortázar, S. M., y Romero-Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 047-056.

Hernández-Martínez, R., Santacruz-Varela, A., Reyes-Méndez, C. A., López-Sánchez, H., Lobato-Ortiz, R., y Castillo-González, F. (2024). Predicción de híbridos de cruza simple de maíz con base en información genómica de las líneas. *Bioagro*, 36(3), 255-266. <https://doi.org/10.51372/bioagro363.1>

Joaquín-Cancino, S., Rocandio-Rodríguez, M., Álvarez-Vázquez, P., Hernández-Guzmán, F. J., Limas-Martínez, A. G., y Garay-Martínez, 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.

López-Hernández, N. A., Martínez-Sifuentes, A. R., Halecki, W., Trucíos-Caciano, R., & Rodríguez-Moreno, V. M. (2025). An Assessment of the Impact of Climate Change on Maize Production in Northern Mexico. *Atmosphere*, 16, 455.

Lucio-Ruiz, F., Joaquín-Cancino, S., Godina-Rodríguez, J. E., & Garay-Martínez, J. R. (2023). Yield and chemical composition of forage and silage of native maize under irrigated semi-arid conditions. *Agrociencia*, 57(4), 1-22.

Martínez, R. H., Varela, A. S., Méndez, C. A. R., Sánchez, H. L., Ortiz, R. L., y González, F. C. (2024). Desarrollo de híbridos de maíz de cruza simple con

diferentes estrategias de selección de progenitores.: Métodos genotécnicos en maíz. *Revista Bio Ciencias*, 11.

Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Cardoso-Galvão, J. C., Vázquez-Carrillo, G., y Turrent-Fernández, A. (2018). Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1447-1458. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1357>

Montemayor-Trejo, J. A., Olague-Ramírez, J., Fortis-Hernández, M., Sam-Bravo, R., Leos-Rodríguez, J. A., Salazar-Sosa, E., Castruita-López, J., Rodríguez-Ríos, J. C., y Chavaría-Galicia, J. A. (2007). Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 163-168.

Morales-Ruiz, A., y Díaz-López, E. (2020). Influencia de la temperatura, precipitación y radiación solar en el rendimiento de maíz en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia*, 53, 377-385.

Ocampo De Jesús, R., Sotelo-Ruiz, E. D., Salgado-Benítez, G., Flores-López, R., Martínez-Mendoza, A. A., y Gil-Gil, H. (2025). Evaluación de rendimiento de maíz para Valles Altos del Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 16(1). <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i1.3368>

Pérez-López, L., Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Cervantes-Ortiz, F., Aguirre-Mancilla, C. L., y Aguilera, J. G. (2024). Morphology and yield components of single hybrids white and yellow maize in the Yaqui Valley. *Agrária-Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 19(1), e3533-e3533. <https://doi.org/10.5039/agraria.v19i1a3533>

Reyes-González, A., Reta-Sánchez, D. G., Sánchez-Duarte, J. I., Servín-Palestina, M., y Cueto-Wong, J. A. (2025). Temperatura alta durante la polinización y

su efecto en el rendimiento de maíz grano. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 12(2), e4253.

Rivas-Jacobo, M. A., Mendoza-Pedroza, S. I., Sangerman-Jarquín, D. M., Sánchez-Hernández, M. Á., Herrera-Corredor, C. A., y Adelaido-Rafael, R.G. (2020). Evaluación forrajera de maíces de diversos orígenes de México en la región semiárida. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(spe24), 93-104. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2361>

Sánchez, W. y Hidalgo, C. (2018). Potencial forraje de nueve híbridos de maíz en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 29(1), 11.

Sánchez-Hernández, M. Á., Cruz-Vázquez, M., Sánchez-Hernández, C., Morales-Terán, G., Rivas-Jacobo, M. A., y Villanueva-Verduzco, C. (2019). Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 699-712.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2026). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. URL: https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola Consulta: mayo 2026.

Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., Turrent-Fernández, A., Sierra-Macías, M., y Gómez-Montiel, N. (2012). Forraje y grano de híbridos de maíz amarillos para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), 281-288.

Tucuch-Cauich, C. A., Rodríguez-Herrera, S. A., Reyes-Valdés, M. H., Pat-Fernández, J. M., Tucuch-Cauich, F. M., y Córdova-Orellana, H. S. (2011). Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 123-132.

- Velasco-Macias, S., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., Canales-Islas, E., y Coutiño-Estrada, B. (2022). Rendimiento de grano, forraje y calidad forrajera de nuevos híbridos de maíz de Valles Altos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1), 77-87. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2398>
- Wong-Romero, R., Gutiérrez-del Río, E., Rodríguez-Herrera, S. A., Palomo-Gil, A., Córdova-Orellana, H., y Espinoza-Banda, A. (2006). Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la Comarca Lagunera, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 22(2).
- Yescas, C. P., Segura C, M. A., Martínez, C. L., Álvarez R, V. P., Montemayor T, J. A., Orozco V, J. A., y Frías R, J. E. (2015). Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas. *Phyton*, 84(2), 272-279.