



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Producción de forraje, grano y rastrojo de híbridos élite de maíz (*Zea mays* L.)

para Valles Altos de México

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

P R E S E N T A :

MIXY VIANEY CORREA BOLAÑOS

ASESOR:

Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza

COASESORA:

Dra. Consuelo López López

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de tesis.**

**Producción de forraje, grano y rastrojo de híbridos elite de maíz (Zea mays) para
Valles Altos de México**

Que presenta la pasante: **Mixy Vianey Correa Bolaños.**
Con número de cuenta: **418062665** para obtener el título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de mayo de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en C. Vicente Silva Carrillo	
VOCAL	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
SECRETARIO	Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza	
1er. SUPLENTE	Ing. Israel Arteaga Escamilla	
2do. SUPLENTE	Ing. Fernando Ortiz Salgado	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

DEDICATORIA

A mis padres; mi mamá Eugenia Bolaños Xochitla quien siempre me ha apoyado en cada uno de mis sueños y locuras, por su amor incondicional y por todo el esfuerzo que ha hecho para que logre ser una Ingeniera Agrícola. Mi papá Sergio Correa Mendoza por enseñarme a ser una mujer fuerte y trabajadora, a siempre dar lo mejor de mí, gracias por la motivación y los consejos día con día. Sin ustedes, no hubiera sido posible llegar hasta aquí y enfrentar con éxito todos los desafíos que se me presentaron ¡Los amo!

A mi hermana Jessica Itzel Correa Bolaños quien corrió conmigo esta carrera, gracias por no dejarme sola, fuiste pieza fundamental para cada día ser mejor, tus palabras de aliento, tu amor incondicional y tu confianza en mí han sido mi mayor motivación en este largo camino. A mis hermanos Marco, Arexy y Brian quienes siempre estuvieron al pendiente en este proceso haciéndolo más ameno, han sido mis cómplices toda la vida.

A mi amiga Julieta Vianey Soto Tellez, por ser ese equipo que no te deja morir sola, por las largas horas de estudio, por los viajes de práctica, desde que nuestras vidas se cruzaron siempre has estado a mi lado compartiendo risas, lágrimas y sueños; Kevin, Brandon, Antonio y Paola gracias por hacer la universidad más divertida, son el equilibrio perfecto entre ser responsables y divertidos, han sido ese grupo de apoyo durante estos cinco años. Su amistad es un regalo que atesoro profundamente.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma mater por haberme dado la oportunidad de formar parte de ella, de abrirme las puertas y permitirme cumplir mi sueño de ser Ingeniera Agrícola.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por brindarme sus instalaciones y darme las herramientas para desarrollarme plenamente como profesionista.

Al programa de Apoyo de Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT: IT200122), por proporcionar recursos económicos para la realización de este trabajo.

A los profesores de la carrera quienes me compartieron sus conocimientos y apoyo a lo largo de esta carrera, porque cada uno de ellos dejó huella en mi camino.

Al Dr. Joob A. Zaragoza Esparza, le agradezco su humildad, su paciencia, sus consejos, sus conocimientos y su apoyo para la realización de este trabajo. Usted es un gran maestro y sobre todo un gran ser humano. Que dicha tenerlo como mi asesor y amigo.

Agradezco a la Dra. Margarita Tadeo Robledo y al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por permitirme formar parte de su equipo, sin ustedes este trabajo no hubiera podido realizarse.

Agradezco a todo el equipo de semillas, quienes me acogieron desde el primer día que llegué, se convirtieron en mi segunda familia. Al I.A. Israel Arteaga Escamilla y Carlos Ortega Romero por su amistad tan sincera, sus consejos y los buenos momentos que me hicieron pasar este tiempo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
RESUMEN	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia de la producción de maíz para grano y forraje	4
2.2. Problemáticas en la producción de maíz	5
2.3. Importancia de variedades genéticamente mejoradas	7
2.4. Potencial productivo de híbridos de maíz en Valles Altos	8
2.5. Importancia de maíz para doble propósito	10
2.6. Importancia del rastrojo.....	11
2.7. Métodos de conservación	12
2.7.1. Ensilaje	12
2.7.2. Ensilado.....	13
2.7.3. Silo	13
2.7.4. Proceso de ensilaje	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Zona de estudio.....	16
3.1.1. Condiciones climáticas.....	16
3.1.2. Condiciones edáficas.....	17
3.2. Material genético	17
3.3. Diseño experimental	17
3.4. Manejo agronómico.....	18
3.5. Metodología para evaluación del grano de maíz	18
3.5.1. Floración masculina	18
3.5.2. Floración femenina.....	18
3.5.3. Altura de planta	19
3.5.4. Altura de la mazorca	19

3.5.5.	Longitud de mazorca	19
3.5.6.	Diámetro de mazorca	19
3.5.7.	Granos por mazorca	19
3.5.8.	Peso volumétrico	19
3.5.9.	Porcentaje de grano	19
3.5.10.	Rendimiento de grano	20
3.6.	Metodología para evaluación de maíz forrajero y rastrojo.....	20
3.6.1.	Rendimiento de forraje verde.....	20
3.6.2.	Rendimiento de forraje seco.....	21
3.6.3.	Porcentaje de materia seca	21
3.6.4.	Porcentaje de mazorca.....	22
3.6.5.	Rendimiento de rastrojo en húmedo.....	22
3.6.6.	Rendimiento de rastrojo seco	22
3.6.7.	Porcentaje de proteína	23
3.6.8.	Porcentaje de digestibilidad	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1.	Experimento 1. Determinación de producción de grano de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz.....	26
4.2.	Experimento 2. Determinación de producción y calidad de forraje de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz.....	30
4.3.	Experimento 3. Determinación de producción y calidad de rastrojo de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz.....	32
V.	CONCLUSIONES	35
VI.	LITERATURA CONSULTADA	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Rendimiento y composición nutricional de maíz forrajero.....	10
Cuadro 2.	Fases del proceso de ensilaje	14
Cuadro 3.	Híbridos de maíz de la FESC-UNAM e INIFAP utilizados en tres tipos de experimentos para determinar producción de grano, forraje y rastrojo. Ciclo primavera-verano 2022.	17
Cuadro 4.	Cuadrados medios y significancia estadística al evaluar la producción de grano de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz en Valles Altos de México. Ciclo primavera – verano 2022.	26
Cuadro 5.	Comparación de medias para nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz evaluados para producción de grano. Ciclo primavera – verano 2022.	27
Cuadro 6.	Continuación. Comparación de medias para nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz evaluados para producción de grano. Ciclo primavera – verano 2022.	29
Cuadro 7.	Cuadrados medios y significancia estadística al evaluar la producción de forraje de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz en Valles Altos de México. Ciclo primavera – verano 2022.	30
Cuadro 8.	Comparación de medias para nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz evaluados para producción de forraje. Ciclo primavera – verano 2022.....	32
Cuadro 9.	Cuadrados medios y significancia estadística al evaluar la producción de rastrojo de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz en Valles Altos de México. Ciclo primavera – verano 2022.	33
Cuadro 10.	Comparación de medias para nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz evaluados para producción de rastrojo. Ciclo primavera – verano 2022.	34

RESUMEN

En México el maíz (*Zea mays* L.) es de gran importancia, ya que constituye la base de la alimentación, además de que es aprovechado como alimento para ganado; este cultivo tiene un potencial de producción de tres millones de hectáreas en Valles Altos, por lo que, el rendimiento en el Estado de México podría elevarse si se emplean variedades mejoradas, con altos potenciales de rendimiento. Por tal motivo, el objetivo fue evaluar nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz bajo condiciones de temporal, para identificar cuáles pueden constituir una alternativa en la producción de grano, forraje y rastrojo para los productores de Valles Altos de México. La investigación se dividió en tres experimentos, orientados a la producción de grano, forraje y rastrojo, utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial, cada uno con 3 repeticiones, constituyendo 30 unidades experimentales para grano, 30 para forraje y 30 para rastrojo. Se evaluó el rendimiento en cada uno, así como el porcentaje de proteína y digestibilidad en forraje y rastrojo. Se observó que los híbridos CUXI PUMA e IXIM PUMA obtuvieron los rendimientos de grano más altos; sin embargo, para forraje verde sobresalieron los híbridos H-53 AE y (IA442 F X IA446) X MIA46, por otro lado, IXIM PUMA y (IA442 F X IA446) X MIA46 obtuvieron los valores más altos en rendimiento de forraje seco. Variedad Cedillo sobresalió en rendimiento de rastrojo húmedo y seco, para proteína y digestibilidad en rastrojo se obtuvo una media de 4.6 y 47%, respectivamente; sin embargo, podría tratarse el rastrojo con NH₃ o Urea para obtener valores más altos en estas características.

Palabras clave: Maíz, rendimiento, grano, forraje, rastrojo, híbridos de maíz, producción, proteína, digestibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, además de ser una de las especies cultivadas más productivas, siendo de gran importancia económica a nivel mundial puesto que puede ser utilizada como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo (Paliwal et al., 2001).

En México el maíz es de gran importancia ya que constituye la base de la alimentación, en 2021 se sembraron 7 millones 310 mil hectáreas de maíz para producción de grano; mientras que para maíz forrajero en 2021 fueron sembradas 597 mil 543 hectáreas con una producción de 17 millones 250 mil toneladas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022).

A pesar de la importancia que representa este cultivo; actualmente no se puede satisfacer la demanda; no obstante, en México existe un potencial para maíz (*Zea mays* L.) de tres millones de hectáreas en Valles Altos de los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala (Eagles y Lothrop, 1994), pero las bajas temperaturas y las precipitaciones escasas limitan el desarrollo del maíz, es por ello que a lo largo del tiempo muchas instituciones se han dedicado a la generación y evaluación de nuevos híbridos de maíz con características favorables, que constituyan una alternativa para los productores para superar estos problemas; como es el caso del Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP) quien desde el año 1943 y la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FESC-UNAM) desde 1986, han generado, seleccionado, evaluado y desarrollado, híbridos de maíz blanco y amarillo, con características óptimas para la producción de grano, forraje y rastrojo.

En esta investigación se considera un grupo de híbridos élitos de la FESC-UNAM, tres ya registrados y liberados comercialmente (TSIRI PUMA, TLAOLI PUMA, ATZIRI PUMA), tres experimentales (IXIM PUMA, CUXI PUMA, (IA442 F X IA446) X MIA46), tres híbridos liberados comercialmente por INIFAP (H-49 AE, H-53 AE, H-50) y una variedad mejorada (VARIEDAD CEDILLO). Con este grupo de diez materiales se estableció esta investigación para definir los híbridos más adecuados para Valles Altos, que presenten un alto rendimiento de grano y que además expresen buena productividad y calidad tanto de forraje como de rastrojo, por lo cual en el presente trabajo se proponen los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar nueve híbridos élitos y una variedad de polinización libre de maíz bajo condiciones de temporal, para identificar cuáles pueden constituir una alternativa en la producción de grano, forraje y rastrojo para los productores de Valles Altos de México.

1.1.2. Objetivos específicos

Conocer el rendimiento de grano forraje y rastrojo en los nueve híbridos élitos y una variedad de polinización libre de maíz.

Determinar el porcentaje de proteína y digestibilidad en forraje y rastrojo de los nueve híbridos élitos y una variedad de polinización libre de maíz.

1.2. Hipótesis

Hipótesis de trabajo: Al menos uno de los híbridos evaluados presentará diferencias estadísticas en rendimiento de grano, forraje y rastrojo, así como altos porcentajes de proteína y digestibilidad.

Hipótesis nula: Ninguno de los híbridos evaluados presentará diferencias estadísticas en rendimiento de grano, forraje y rastrojo, ni altos porcentajes de proteína y digestibilidad.

Hipótesis alternativa: Varios de los híbridos evaluados presentará diferencias estadísticas en rendimiento de grano, forraje y rastrojo, así como altos porcentajes de proteína y digestibilidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la producción de maíz para grano y forraje

México, centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), cuenta con 64 razas según la clasificación más reciente basada en propiedades morfológicas e isoenzimáticas (Sánchez et al., 2000), lo que representa un 29% correspondiente de 220-300 razas de maíz existentes en el continente americano (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad [CONABIO], 2020).

Desde el punto de vista alimentario, político, económico y social, el maíz es el cultivo más importante de México, su producción se divide en maíz blanco y maíz amarillo, siendo el maíz blanco destinado principalmente al consumo humano, mientras que la producción de maíz amarillo está orientada a la elaboración de alimento balanceado para la producción industrial o ganadera (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios [ASERCA], 2018). El consumo anual per cápita de maíz en grano es de 346.6 kg, mientras que su principal forma de consumo es la tortilla, por ello el maíz representa 88.2% de la producción nacional de granos; por otro lado, el maíz forrajero contribuye 13.3% a la producción nacional de forraje (CONABIO, 2020; SIAP, 2022).

La planta de maíz es un excelente forraje para el ganado orientado a la producción de carne y leche. Se utiliza como forraje en varios estados de crecimiento, principalmente a partir del momento en que aparece la panoja o más adelante. Para lograr la máxima producción de materia seca digestible por hectárea con el mayor contenido energético, la planta debe cosecharse en estado de grano lechoso-masoso, puesto que es el más adecuado y es el ideal para la elaboración de ensilado (Paliwal et al., 2001).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2022) reportó en el 2021 una producción a nivel mundial de 1,210 millones toneladas de grano de maíz en 205 millones de has, de maíz forrajero se produjeron alrededor de 9 millones toneladas, en 1 millón has.

A nivel nacional, en 2021 se sembraron 7 millones 310 mil has de maíz, 2.2% menos que en el 2020, pero la producción fue de 27 millones 503 mil toneladas, 0.3% superior a la de 2020; de maíz forrajero en 2021 se sembraron 597,543 has con una producción de 17 millones 250 mil toneladas, resultado de un crecimiento en área sembrada de 1.8% y a la vez dando un aumento de rendimiento de 1.1% con respecto a 2020. Sinaloa se convirtió en el principal productor de maíz para grano con 22.2%, seguido de Jalisco y en Estado de México; para maíz forrajero, el principal productor fue Jalisco con 35.9%, seguido de Durango y Zacatecas (SIAP, 2022).

2.2. Problemáticas en la producción de maíz

A pesar de los datos anteriores México no es autosuficiente alimentariamente en maíz, ya que importa aproximadamente 17 millones de toneladas en el 2022 (Carbajal, 2022), dado que los funcionarios gubernamentales en los sexenios anteriores afirmaban que es más conveniente importar el grano que producirlo, bajo el argumento de que el costo es menor a lo que se paga por tonelada en el país. Desde 1994 la producción de maíz en México no ha sido debidamente estimulada, no ha habido apoyo a la producción y productividad; se ha erosionado la infraestructura y los recursos disponibles en el territorio. De igual forma, la investigación agronómica no tiene apoyo, lo que podría contribuir al incremento de la producción de maíz (Espinosa et al., 2010).

La producción de maíz ha tenido un fuerte impacto, particularmente en el norte de México; mientras que la menor escala persiste en regiones campesinas e indígenas, en ejidos, tenencias

colectivas, donde la gente posee pequeños fragmentos de entre una o dos hectáreas, esta desigualdad social pone al descubierto la migración, como un fenómeno que ha provocado el descenso de la producción de maíz ante el abandono de tierras por parte de agricultores que van a otros estados o países en busca de mejores oportunidades de empleo y calidad de vida (López, 2019).

No obstante, debido a los efectos del calentamiento global, el aumento de temperaturas y los cambios en los patrones de lluvia, generan que la situación en el campo mexicano se deteriore, ocasionando bajos rendimientos de maíz y pérdidas económicas para los productores. Ante esta problemática, que se ha presentado desde hace 3 décadas, investigadores han buscado soluciones, donde recalcan que es importante generar análisis que guíen a los tomadores de decisiones a aplicar medidas para adaptarnos a las condiciones climáticas y que no afecte la autosuficiencia alimentaria (Ureta et al., 2020). Cabe resaltar, que debido a los cambios de temperatura, precipitación, humedad y eventos extremos como: sequías, heladas, lluvias torrenciales e inundaciones, diversos cultivos están en riesgo, puesto que los ciclos y rendimientos agrícolas se alteraron, tornando vulnerable al 46% de la población rural de América Latina dependiente de la agricultura de temporal (Munguía et al., 2015).

Aunado a esta situación, la presencia de plagas y la susceptibilidad del maíz ante ellas, principalmente por el gusano cogollero, crea más problemas a los productores, ya que la falta de lluvia puede agravar la situación en el campo afectando la calidad de los cultivos en aproximadamente un 50% de la superficie, por lo que una opción es contar con riego, para poder actuar de manera más oportuna y al mismo tiempo continuar con las aplicaciones de los plaguicidas y así evitar que estas rebasen el umbral económico (Anónimo, 2016).

2.3. Importancia de variedades genéticamente mejoradas

En México, la diversidad genética del maíz es amplia y difiere de región a región, por lo que es posible encontrar a nivel de micro regiones o nichos ecológicos un determinado patrón varietal constituido por variedades que pueden clasificarse desde ultra tardías hasta precoces (Muñoz, 2005; Gil, 2006).

La semilla mejorada es una forma efectiva de llevar la tecnología al campo y enfrentar los desafíos climáticos que enfrentan las familias productoras, además, es una aliada para aumentar la producción sin utilizar más suelo, así como para optimizar el uso del agua y de agroquímicos, contribuyendo al objetivo de la seguridad alimentaria (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022).

En México, existen 3,632 variedades vegetales registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, de 103 cultivos diferentes, de las cuales 2,064 son de maíz, debido a la importancia de este cultivo para nuestra cultura y alimentación (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SNICS], 2023). Para lograr estas variedades implica un trabajo de entre 12 y 15 años; aunque, a veces se puede prolongar este proceso o difícilmente se logra la liberación de materiales; sin embargo, para obtener la óptima expresión de su potencial de rendimiento, requieren la aplicación de los resultados de la investigación de otros componentes tecnológicos tales como densidad de población, fertilización, fechas de siembra, labores de cultivo, aplicación de herbicidas, así como otras recomendaciones para el correcto manejo del cultivo, puesto que una aspiración legítima de los investigadores genetistas es la de formar variedades que con la simple sustitución de la semilla que le antecede, incrementen el rendimiento, la calidad o la característica favorable de interés antropocéntrico que se busca obtener (Espinosa et al., 2010; SADER, 2022).

2.4. Potencial productivo de híbridos de maíz en Valles Altos

El rendimiento en el Estado de México podría elevarse si se emplean más variedades mejoradas, con altos potenciales de rendimiento (Virgen et al., 2016). Por ello, es urgente aprovechar los materiales genéticos disponibles que generan las instituciones públicas de investigación.

Para Valles Altos de México, es necesario evaluar los cultivares de maíz, en localidades diferentes, porque en diferentes ambientes pueden presentar distintas respuestas frente a las condiciones ambientales variables, lo que caracteriza la interacción entre genotipos \times ambientes (Martinez et al., 2018). Debido a lo anterior, los investigadores se han dado la tarea de ponerlos a prueba bajo diferentes factores, evaluando diferentes variables tales como rendimiento de grano, altura de planta, altura de mazorca, peso volumétrico, porcentaje de grano, porcentaje de mazorca, entre otras.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en algunos híbridos de maíz evaluados en diferentes zonas de Valles Altos.

El híbrido H-47 AE fue evaluado entre los años 2004 y 2009 en más de 25 ambientes de Valles Altos; es un híbrido trilineal, de grano blanco y dentado, de madurez intermedia; a una altitud de 2250 msnm alcanza su floración masculina a los 86 días y la femenina a los 88 días. Presenta una altura de planta de 245 a 273 cm y una altura de mazorca de 135 a 176 cm. Su rendimiento medio de grano es de 8.0 t ha^{-1} a una densidad de 65,000 plantas ha^{-1} . La mazorca tiene, en promedio, una longitud de 15.7 cm. el grano presenta un peso hectolítrico de 77.5 kg hL^{-1} (Espinosa et al., 2018).

Otro híbrido que se ha evaluado es el H-49 AE, de ciclo intermedio, su floración masculina aparece a los 88 días y la femenina a los 89 días, en altitudes de 2250 msnm.

El rendimiento medio de H 49 AE en la validación, en el Estado de México fue de 10.7 t ha⁻¹, con variación de 8.5 a 12.5 t ha⁻¹ (Espinosa et al., 2022).

El híbrido H-52 presenta su floración masculina a los 84 días y expone floración femenina a los 86 días, en altitudes de 2250 msnm, mientras que a más de 2500 msnm la floración masculina y floración femenina se presentan a los 96 y 98 días, respectivamente. Presenta altura de planta y mazorca de 2.3 m y 1.3 m, respectivamente. Su potencial de rendimiento es de 9.0 a 11.0 t ha⁻¹. Es capaz de soportar densidades de hasta 80,000 plantas ha⁻¹ tiene una longitud de mazorca de 16.5 cm, su relación grano mazorca es de 82–84%, la cosecha en el Valle de México se puede realizar a los 170 días, mientras que en el Valle de Toluca es a los 190 días (Avila et al., 2009).

Para el caso de maíz forrajero igual se han llevado a cabo muchas investigaciones; por lo que Amendola et al. (2005, como se citó en Amendola, 2016) con base a los resultados obtenidos entre 1996 y 2003 por otros investigadores, indicó los valores promedio para diversos parámetros de producción y calidad en maíz forrajero (Cuadro 1).

Ahora bien, si estos valores los comparamos con los reportados con un híbrido, como el híbrido trilineal de grano blanco H-47 AE, el cual de acuerdo con Espinosa et al. (2018) tiene adaptación a Valles Altos en altitudes de 2200 a 2600 msnm, bajo condiciones de riego, punta de riego y humedad residual; además de ser recomendado como un híbrido de doble propósito, puesto que reportan un rendimiento de materia seca de más de 24 t ha⁻¹ y un porcentaje de digestibilidad del 72%. El híbrido H-47 AE clasificaría como un híbrido con rendimiento alto y una digestibilidad media.

Cuadro 1. Rendimiento y composición nutricional de maíz forrajero

	Mínimo	Máximo	Media
Rendimiento bajo* (t MS ha ⁻¹)	9.6	20.6	16.0
Rendimiento medio* (t MS ha ⁻¹)	11.6	25.2	18.7
Rendimiento alto* (t MS ha ⁻¹)	18.6	34.1	24.2
Mazorca % de MS	33.0	47.0	42.4
Fibra detergente neutra (FDN, % de MS)	37.2	51.9	45.3
Fibra detergente ácida (FDA, % de MS)	23.0	28.0	25.4
Proteína cruda (PC, % de MS)	6.1	9.0	7.8
Digestibilidad in vitro (% de MS)	59.0	81.8	72.4
Energía neta para la lactancia (Mcal kg ⁻¹ MS)	1.20	1.68	1.53

Fuente: Amendola et al. (2005, como se citó en Amendola, 2016).

2.5. Importancia de maíz para doble propósito

De acuerdo con Blümmel et al. (2013) el maíz de doble propósito se puede definir como aquel que tiene en cuenta el aprovechamiento de su producción en grano y de rastrojo (como suplemento en las dietas de los animales) con valores altos de rendimiento y calidad en ambos productos, incluso teniendo un potencial económico, para satisfacer las necesidades cambiantes de maíz.

La demanda de maíz de doble propósito ha aumentado debido a las condiciones ambientales, económicas, políticas y sociales en las que está inmersa la producción de maíz en el mundo. Los productores con pequeñas extensiones de terreno buscan integrar el cultivo del maíz con la ganadería, por lo que requieren de variedades que les den mayor rendimiento de grano y forraje buscando características en la planta como hoja ancha y abundante, tallo grueso, jugoso y suave; por ello el desarrollo de híbridos de doble propósito es la alternativa en el corto y mediano plazo para incrementar la rentabilidad del maíz en el centro de México, debido a que el productor busca eficiencia en la producción para mantener y reproducir su unidad, haciendo integral el aprovechamiento de los recursos con que cuenta y buscando estrategias de sobrevivencia, como lo son el integrar a los cultivos con la producción pecuaria (Gaytán et al., 2009; Muñoz, 2011).

2.6. Importancia del rastrojo

El rastrojo es el residuo del cultivo, también llamado paja, zacate, soca o esquilmos; este es un recurso valioso que no siempre es apreciado por los productores. Puesto que, en muchas ocasiones, los productores queman el rastrojo como parte de una práctica agrícola para “limpiar” su parcela, pero esta termina por degradar el suelo, contaminar el medioambiente y dañar la salud de los productores y sus vecinos. Sin embargo, el rastrojo tiene dos usos fundamentales, ya sea como mejorador de suelo, puesto que aporta materia orgánica, protege contra la erosión, conserva humedad, entre otros aspectos; así como traer beneficios a los productores al ser utilizado como una fuente de ingresos adicionales al ser utilizado como suplemento en la dieta de los animales (Caballero et al., 2017; Centro Internacional de Mejoramiento Genético de Maíz y Trigo [CIMMYT], 2019).

La mayor producción de rastrojo se obtiene de los cereales y está directamente relacionada con la producción de granos; por lo tanto, a medida que aumenta la cantidad de grano producido para satisfacer la demanda de alimentos de la población, aumenta la disponibilidad de este residuo. El rendimiento de rastrojo en la producción agrícola depende de varios factores, tales como el tipo de suelo, clima, manejo agronómico, disponibilidad de agua y la variedad sembrada; se estima que por cada kilogramo de grano producido se obtiene un kg de rastrojo (Macedo, 2000; Muñoz, 2011; Borja et al., 2016).

Por lo tanto, el rastrojo de maíz es uno de los elementos de gran importancia para la producción, ya que ayuda a amortiguar las necesidades de alimentación del ganado y le da estabilidad económica (Macedo, 2000); aunque, el término de calidad del rastrojo aún es subjetivo debido a que se tienen que establecer indicadores mínimos para que un rastrojo adquiera esta cualidad; los cuales se determinan con pruebas de laboratorio donde se conoce la composición

química como contenido de fracciones de fibra, digestibilidad, proteína, entre otros (Vargas, 2013). No obstante, el rastrojo de maíz posee una proporción nutrimental menor que el grano en cuanto a energía y proteína, pero es una buena alternativa para aprovechar este subproducto y tener una ganancia económica adicional; debido al volumen de producción obtenido y el beneficio que representa, es importante identificar las variedades que pueden producir más rastrojo y con buena composición química (Muñoz et al., 2013).

2.7. Métodos de conservación

Es fundamental en los sistemas ganaderos disponer de forraje en cantidad y calidad durante el período de estiaje, cuando los pastizales y pasturas prácticamente no crecen y los que están en pie son de baja calidad. Una manera de lograrlo es mediante la conservación de forrajes, ya que así se puede mantener estable la oferta de alimento durante todo el año (Catholic Relief Services [CRS], 2015).

Existen diferentes métodos de conservación, de los cuales destacan tres: ensilaje, henificación y henolaje, el primer método consiste en la fermentación por bacterias acidolácticas (BAL) en condiciones anaeróbicas, el segundo se basa en la deshidratación del forraje y por último el henolaje básicamente consiste en marchitar el forraje hasta tener un contenido de humedad de aproximadamente 50%, después se forman rollos de alta densidad, se embolsan y se sellan al vacío (Bruno et al., 1997).

2.7.1. Ensilaje

El ensilaje es un proceso de conservación de forraje en verde que lo mantiene con un buen estado de humedad y pérdidas mínimas en su valor nutritivo (Garcés et al., 2004).

2.7.2. *Ensilado*

Es el producto obtenido a través de la fermentación del forraje u otro material con alto contenido de humedad, por acción de bacterias acidolácticas, sobre los azúcares de este, obteniendo un forraje acidificado bajo condiciones anaeróbicas (Hiriart, 1998)

2.7.3. *Silo*

El silo es la estructura donde se lleva a cabo el proceso de ensilaje. Este debe quedar en una zona accesible que facilite la distribución del ensilado a los animales. Existen diferentes tipos de silos, tales como (Cedeño et al., 1981):

- De torre
- Trinchera
- Bunker
- De montón

2.7.4. *Proceso de ensilaje*

El proceso del ensilaje consiste en la recolección rápida y mecanizada de los forrajes en estado vegetativo, depositando el forraje en el silo, compactándolo y posteriormente tapándolo para evitar la entrada de oxígeno, favoreciendo la preservación del forraje por medio de una fermentación ácido láctico en condiciones anaeróbicas. El forraje experimenta una serie de transformaciones (Cuadro 2), generadas por bacterias que convierten los carbohidratos solubles en ácido acético y láctico (Bates, 1999). Al generarse estos ácidos el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción. El proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro etapas (Weinberg y Muck, 1996, como se citó en Garcés et al., 2004):

- Fase 1. Fase Aeróbica.

- Fase 2. Fase de Fermentación
- Fase 3. Fase Estable
- Fase 4. Fase de Deterioro Aerobio

Cuadro 2. Fases del proceso de ensilaje

Fase aerobia	Fase anaerobia				Fase estable	Fase de deterioro
Días 0-2	Días 2-3	Días 3-4	Días 4-7	Días 7-21	Después del día 21	Después de abierto el silo
Respiración celular se produce CO ₂ , calor y agua	Comienza la fermentación produciendo ácido acético y aumento de calor	Comienza la producción de ácido láctico y continua la de ácido acético	Se produce ácido láctico	Se mantiene producción de ácido láctico y el pH permanece estable	Se detiene la fermentación bacteriana el ensilaje se preserva hasta la exposición con el oxígeno	Descomposición aeróbica
T. 21.5°C pH 6.0	35°C 5.0 Se produce ácido acético	29°C 4.0 Se produce ácido láctico y acético	29.0°C 4.0 Ácido láctico	29.0°C 4.0	29.0°C 4.0	29.0°C 4.0-7.0 Actividad de hongos y levaduras

Fuente: McCullough, 1984

Para preparar un ensilaje de buena calidad, se debe tener en cuenta los siguientes puntos (Cedeño et al., 1981):

- El forraje, el corte y la humedad
- El llenado y el apisonado del silo
- Los procesos durante el ensilaje
- Los preservativos y aditivos
- La cobertura y el sellado
- Las pérdidas en el ensilaje
- La calidad del ensilado

A continuación, se describen cada uno de los pasos a seguir para obtener un buen ensilado.

Los forrajes de maíz y sorgo se cosechan durante etapa masosa-lechosa del grano, de modo que tenga un contenido de humedad de 60-70% (Elizondo, 2017).

Llenado del silo. La buena conservación de un ensilado depende en gran medida de la velocidad de llenado del silo. La realización debe hacerse en un día, cuando el tamaño de silo excede la capacidad de llenado diario no se recomienda superar las 72 horas. En todo caso debe existir una buena coordinación entre los equipos de recolección, transporte, llenado y apisonado, con el fin de reducir al mínimo el tiempo de realización del silo (Cañete y Sancha, 1998).

Compactación o apisonado. El propósito es expulsar la máxima cantidad de aire del ensilado y evitar que el aire exterior penetre. Esta práctica es la más importante y es el factor más frecuente en el fracaso de la elaboración de ensilado (Cañete y Sancha, 1998). Trozos de 2 a 4 cm, permite apisonar correctamente el material, lo que favorece la fermentación posterior (Zaragoza, 2018)

Cierre del silo. Debe realizarse inmediatamente finalizado su llenado mediante una cubierta, generalmente un plástico resistente. El objetivo de esta operación es asegurar el sellado de la parte superior tanto del agua como del aire, para reducir la incidencia de las fermentaciones aeróbicas desfavorables (Cañete y Sancha, 1998).

Aditivos. En el proceso de ensilado los aditivos buscan mejorar la conservación y el valor nutritivo del alimento (Argamentería et al., 1997). Los aditivos para ensilaje controlan y/o mejoran la fermentación en el silo, reducen las pérdidas y mejoran la calidad nutritiva de los ensilajes para uso animal; sin embargo, los aditivos no solucionan fallas del ensilaje como corte tardío o un pobre sellado (Castle, 1982).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

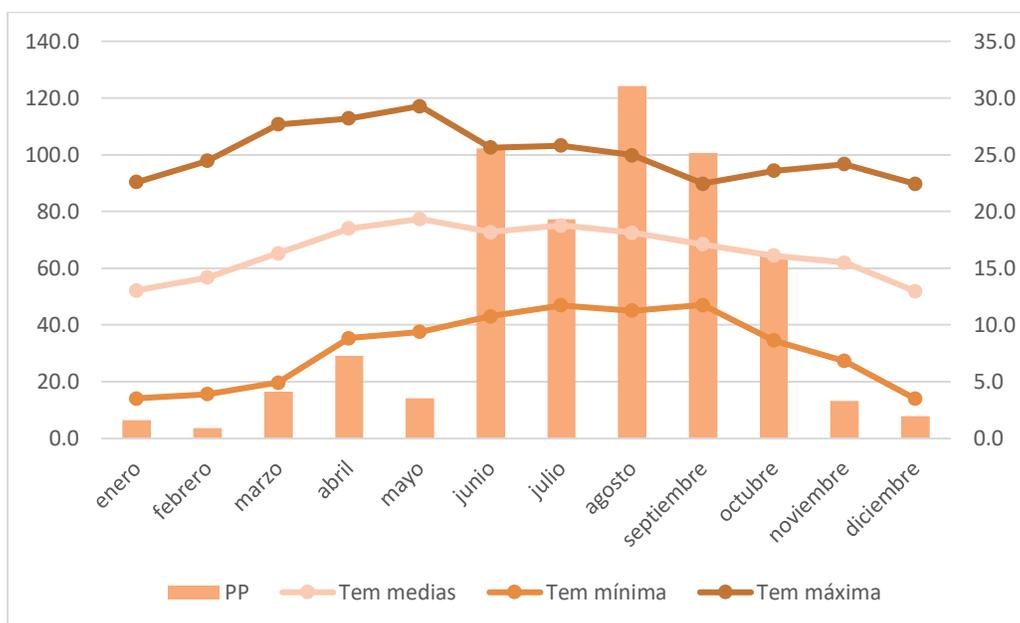
El experimento fue establecido en la parcela número 7, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC) UNAM, municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, con coordenadas geográficas: 99° 11' 42'' Longitud Oeste y 19° 41' 35'' Latitud Norte a 2,274 msnm.

3.1.1. Condiciones climáticas

La FESC UNAM, cuenta con características climáticas que corresponden a un clima Templado Subhúmedo C(wo), el más seco de los subhúmedos, con lluvias de verano; la temperatura media anual es de 15.2 °C y la precipitación media anual de 612.1 mm; las heladas se presentan principalmente durante el periodo invernal (Mercado et al., 2014).

Sin embargo, el régimen de temperaturas y precipitación promedio del año 2022 durante el año 2022, se muestran en la Figura 1, siendo de gran relevancia los meses de junio a diciembre, ya que se tuvo 490.3 mm de precipitación acumulada en el ciclo del cultivo.

Figura 1. Climograma de la estación FES CUAUTITLÁN (15043) del año 2022. Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Automatizada FES CUAUTITLÁN



Fuente: Elaboración propia con datos de la Estación meteorológica de la FES CUAUTITLÁN

3.1.2. Condiciones edáficas

En la FES Cuautitlán se encuentran suelos de tipo vertisol pélico, caracterizándose suelos arcillosos, pesados y textura fina. Este tipo de suelos al secarse se endurecen formando grietas profundas y pueden llegar a ser impermeables dificultando la filtración de agua, ya sea suministrada por el riego o por el temporal. En esta localidad el pH oscila entre 6 y 7 (Medina, 2018).

3.2. Material genético

Se evaluaron nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz desarrollados en la FESC-UNAM e INIFAP (Cuadro 3).

La investigación se dividió en tres experimentos, el primero para determinar la producción de grano, el segundo para determinar producción, proteína y digestibilidad de forraje y el tercer experimento para determinar producción, proteína y digestibilidad de rastrojo.

Cuadro 3. Híbridos de maíz de la FESC-UNAM e INIFAP utilizados en tres tipos de experimentos para determinar producción de grano, forraje y rastrojo. Ciclo primavera-verano 2022.

Genotipo	Tipo de variedad	USO		
Variedad Cedillo (Blanco San Mateo)	VPL	Grano	Forraje	Rastrojo
H-49 AE	HT	Grano	Forraje	Rastrojo
H-53 AE	HT	Grano	Forraje	Rastrojo
H 50	HCD	Grano	Forraje	Rastrojo
(IA442 F X IA446) X MIA46	HT	Grano	Forraje	Rastrojo
TSIRI PUMA	HT	Grano	Forraje	Rastrojo
TLAOLI PUMA	HT	Grano	Forraje	Rastrojo
ATZIRI PUMA	HT	Grano	Forraje	Rastrojo
IXIM PUMA	HT	Grano	Forraje	Rastrojo
CUXI PUMA	HT	Grano	Forraje	Rastrojo

VPL= Variedad de polinización libre; HT= Híbrido trilineal; HCD= Híbrido de cruza doble

3.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial, evaluando nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz, cada uno con 3

repeticiones, constituyendo 30 unidades experimentales para grano, 30 unidades experimentales para forraje y 30 unidades experimentales para rastrojo.

3.4. Manejo agronómico

Se realizó la preparación del terreno por medio de aradura, dos pasos de rastra y trazado de surcos (distancia de 0.8m entre surcos y 5 m de largo). Se fertilizó con una dosis de 87 kg de N y 46 kg de P en la siembra.

El experimento se estableció en el ciclo primavera-verano del año 2022, el 16 de junio en la FES- Cuautitlán, de manera manual con apoyo de los integrantes del laboratorio de granos y semillas, así como estudiantes de la carrera de ingeniería agrícola. Para el experimento el ciclo de producción se cubrió completamente con la humedad de la precipitación.

El control de malezas se realizó con base a la utilización de 5 L ha⁻¹ de lumax (Atrazina 11%, Mesotrione 2.94% y S-metolaclor 29.4%) en preemergencia.

3.5. Metodología para evaluación del grano de maíz

Para el experimento de grano la cosecha se realizó el 8 de diciembre de 2022, 175 días después de la siembra, para este experimento se evaluaron las siguientes variables:

3.5.1. Floración masculina

Los días de floración masculina se determinaron a partir de la siembra de la semilla, hasta el día en donde aparecieron 50% de las espigas por surco.

3.5.2. Floración femenina

Los días de floración femenina se consideraron desde el día de la siembra hasta que aparecieron 50% de los estigmas, y tuvieron de 2 a 3 cm de longitud.

3.5.3. *Altura de planta*

Se seleccionaron al azar tres plantas por surco, se midió la distancia desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a dividirse la espiga y se registró la altura de la planta en centímetros.

3.5.4. *Altura de la mazorca*

Se midieron las mismas plantas a las que se les determinó la altura, considerando la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta el nudo donde comienza la mazorca más alta.

3.5.5. *Longitud de mazorca*

Se tomaron cinco mazorcas por parcela las cuales fueron medidas desde la base hasta la punta de cada una, tomando el promedio de ellas como dato final y este se expresó en centímetros.

3.5.6. *Diámetro de mazorca*

A cinco mazorcas por parcela se les midió la parte media utilizando un vernier, tomando el promedio de ellas como dato final y el valor fue expresado en centímetros.

3.5.7. *Granos por mazorca*

Para obtener la relación de grano por mazorca, primero se contaron las hileras y los granos por hilera con los que tenían cada una de las cinco mazorcas, se calculó el promedio de cada una de las variables y se multiplicaron estos promedios para obtener el valor de esta variable.

3.5.8. *Peso volumétrico*

Se desgranaron las cinco mazorcas y se pesó el grano en una balanza volumétrica eléctrica tipo DICKEY-John modelo GAC 2100. Las unidades de medición fueron en Kg hL⁻¹

3.5.9. *Porcentaje de grano*

El porcentaje de grano se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de grano} = \frac{\text{Peso de mazorca sin olote}}{\text{Peso de mazorca con olote}} * 100$$

3.5.10. Rendimiento de grano

Se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento grano} = \frac{PC * \%MS * \% \text{ grano} * FC}{8600}$$

Donde:

PC: Peso de campo

%MS: Porcentaje de materia seca

FC: Factor de conversión para la obtención de rendimiento por hectárea. Se obtiene al dividir 10,000 m² entre el tamaño de la parcela útil en m².

FC=10,000 m²/4 m²

PU: Parcela útil = largo de surco * ancho de surco

PU= 5m * 0.8 m = 4 m²

FC=10,000 m²/4 m²= 2,500 m²= 2.5 ha

8600: Constante para estimar el rendimiento con 14% de humedad (Kg ha⁻¹)

3.6. Metodología para evaluación de maíz forrajero y rastrojo

Para los experimentos de forraje y rastrojo se evaluaron las mismas variables, pero un aspecto imprescindible que los diferencia es la cosecha.

La cosecha para forraje se llevó de acuerdo con la maduración del elote, considerando el estado fisiológico de 1/3 de línea de leche. En este caso la cosecha se realizó el 10 de octubre de 2022, 116 días después de la siembra, donde se cosechó la planta completa.

La cosecha en rastrojo se llevó a cabo una vez que las plantas alcanzaron su madurez fisiológica. Esta se realizó el 16 de diciembre del 2022, 183 días después de la siembra, donde se quitaron las mazorcas y únicamente ocupamos el tallo y hojas.

3.6.1. Rendimiento de forraje verde

Para determinar el rendimiento de forraje verde (RFV) por hectárea se utilizó la planta completa (tallos, hojas y mazorca), se cosecharon todas las plantas de cada parcela útil, cortándolas a una altura de 7 a 10 cm con respecto al suelo, estas se pesaron con una báscula digital para

obtener el peso de campo. Para calcular el rendimiento de forraje verde se ocupó la siguiente fórmula:

$$RFV = \frac{(PC * 10,000m^3)/PU}{1,000}$$

Donde:

RFV: Rendimiento de forraje verde

PC: Peso de campo

PU: Parcela útil = largo de surco * ancho de surco

PU= 5m * 0.8 m = 4 m²

3.6.2. *Rendimiento de forraje seco*

Para determinar el rendimiento de forraje seco (RFS) se trituraron 3 plantas por parcela útil, de ahí se tomaron muestras, las cuales se secaron en una estufa de aire forzado durante 72 horas a 55 °C hasta obtener un peso constante posteriormente se calculó el rendimiento de forraje seco por planta de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$RFS = \frac{(RFV * \%MS)}{100}$$

Donde:

RFS: Rendimiento de forraje seco

RFV: Rendimiento de forraje verde

%MS: Porcentaje de materia seca

3.6.3. *Porcentaje de materia seca*

Se determinó por medio de la utilización de una submuestra del total de plantas utilizadas para la determinación de rendimiento de forraje en verde, se pesó en fresco y se procedió a secar hasta que alcanzó peso constante. El porcentaje de materia seca (MS) se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% MS = (Peso seco / Peso fresco) x 100$$

En donde el peso inicial y el final son expresados en kilogramos (Kg).

3.6.4. *Porcentaje de mazorca*

De cada tratamiento se tomaron tres plantas, se separaron las mazorcas, se secaron en una estufa de aire forzado durante 72 horas a 55 °C hasta obtener un peso constante. Se obtuvo el peso promedio de mazorcas para cada tratamiento y se determinó el porcentaje de mazorca por medio de la fórmula siguiente:

$$\%Mca = \frac{\text{Peso seco promedio por mazorca} * 100}{\text{Peso seco promedio por planta}}$$

3.6.5. *Rendimiento de rastrojo en húmedo*

Para determinar el rendimiento de rastrojo en húmedo (RRH) por hectárea únicamente se utilizó el tallo y las hojas, que quedaron después de la cosecha de la mazorca, se cortaron todas las plantas de cada parcela útil a una altura de 7 a 10 cm con respecto al suelo, estas se pesaron con una báscula digital para obtener el peso de campo. Para calcular el rendimiento de rastrojo en húmedo se ocupó la siguiente fórmula:

$$RRH = \frac{(PC * 10,000m^3)/PU}{1,000}$$

Donde:

RRH: Rendimiento de rastrojo húmedo

PC: Peso de campo

PU: Parcela útil = largo de surco * ancho de surco

PU= 5m * 0.8 m = 4 m²

3.6.6. *Rendimiento de rastrojo seco*

Para determinar el rendimiento de rastrojo seco (RRS) se trituraron tres plantas por parcela útil, de ahí se tomaron muestras, las cuales se secaron en una estufa de aire forzado durante 72 horas a 55 °C hasta obtener un peso constante posteriormente, se calculó el rendimiento de rastrojo seco por planta de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$RRS = \frac{(RRH * \%MS)}{100}$$

Donde:

RRS: Rendimiento de rastrojo seco

RRH: Rendimiento de rastrojo húmedo

%MS: Porcentaje de materia seca

3.6.7. Porcentaje de proteína

Para determinar el contenido de proteína se tomó una submuestra de aproximadamente medio kilogramo de forraje/rastrojo, la cual se secó en una estufa con aire forzado durante 72 horas y se molió con el molino Wiley, a un tamaño de criba de 1 mm.

El contenido de proteína se determinó a partir del método de Micro Kjeldahl, que consiste en la conversión de proteína-nitrógeno a sulfato ácido de amonio durante la digestión de la materia orgánica con ácido sulfúrico y calor, en la presencia de un catalizador (Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales [AOAC], 1984).

Para lograr este proceso de digestión se siguieron los siguientes pasos:

- Se pesaron 0.3 g de muestra de forraje/rastrojo y se colocaron dentro de un matraz Kjeldahl
- Se agregaron 0.5 g de catalizador
- Se agregaron 3 ml de H₂SO₄ concentrado
- Se calentó hasta que viró a color verde

Posterior a este procedimiento se dejó enfriar la muestra para llevar la muestra a un proceso de destilado, donde se realizaron los siguientes pasos:

- Se agregó agua a la bombilla del destilador
- Colocó un matraz con 4 ml de ácido bórico con dos gotas de indicador (rojo de metilo y verde bromocresol) en la fuente de salida donde se obtuvo el destilado

Una vez que el agua de la bombilla se calentó

- Se agregó la muestra digerida
- Por cada 3 ml de Ácido sulfúrico se adicionaron 3 ml de NaOH
- Se destilaron hasta obtener 30-40 ml de muestra
- Se apagó el destilador, retiró la muestra y se purgó el destilador con agua destilada
- Los 30-40 ml de muestra obtenida se titularon con HCl al 0.1 normal

Se recabaron los datos de ml de HCl gastados los cuales se aplicaron en la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de nitrógeno:

$$\%N = \frac{ml \text{ de HCl gastados} * Normalidad \text{ del ácido} * 1.4}{Peso \text{ de la muestra}}$$

Del resultado que se obtuvo se multiplicó por 6.25 para obtener el porcentaje de proteína:

$$\%Proteína = \%N * 6.25$$

3.6.8. Porcentaje de digestibilidad

Se utilizó el método de Tilley y Terry (1963), para determinar el porcentaje de digestibilidad *in vitro*, donde se tomó una muestra de forraje/rastrojo utilizado, al igual que para proteína se secó la muestra en una estufa con aire forzado durante 72 horas y después se molió con una criba a un tamaño de partícula de 1mm.

Posteriormente se realizó el procedimiento siguiente:

- Se marcaron los filtros para cada una de las muestras y se pusieron a secar en una estufa con aire forzado
- Se pesaron 0.3 g de muestra y se agregaron dentro de un tubo de ensayo equipado con válvulas para el escape de gases
- Se adicionaron a cada tubo 50 ml de saliva de McDougal

- Después se agregaron 10 ml de líquido ruminal, que se extrajo de un bovino en ayunas del Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
- Se le adicionó dióxido de carbono (CO₂) durante 15 segundos
- Posteriormente se cubrieron las muestras y se colocaron durante 48 horas en baño maría a una temperatura de 39 °C. Se agitaron a las 2, 4 y 48 horas
- Cumplidas las 48 horas de digestión se le agregaron 6 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCL) y 2 ml de solución de pepsina al 5% agitando 3 veces al día durante otras 48 horas, para realizar la digestión equivalente a la digestión abomasal
- Se sacaron los filtros de la estufa y se pesaron para obtener el peso del filtro sin humedad
- Finalmente, las muestras fueron filtradas por medio de una bomba de vacío y puestas en una estufa a 55° para ser secadas durante 48 horas
- Se pesaron las muestras secas

Se recabaron los datos de peso de las muestras y el peso de los filtros los cuales se aplicaron en la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de digestibilidad:

$$\%Digestibilidad = \frac{(Peso\ muestra\ inicial) - (peso\ final - peso\ filtro)}{Peso\ muestra\ inicial} * 100$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1. Determinación de producción de grano de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz

En el Cuadro 4 se presenta el análisis de varianza para las diferentes variables evaluadas en los nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre. Para el factor de variación genotipos se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en altura de mazorca, floración masculina, floración femenina, longitud de mazorca, peso volumétrico y granos por mazorca; por otro lado, se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para rendimiento de grano; sin embargo, para el factor de variación bloques, se presentó significativo al diámetro de mazorca y altamente significativo a la longitud de mazorca. No existieron diferencias para altura de planta y porcentaje de grano.

Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística al evaluar la producción de grano de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz en Valles Altos de México. Ciclo primavera – verano 2022.

Factor de variación	RG (t ha ⁻¹)	AP (cm)	AM (cm)	FM (días)	FF (días)	LM (cm)	DM (cm)	PV (Kg hL ⁻¹)	Gra/mca	% de grano
Genotipos	6.0*	1164.1	2533.1**	3.5**	18.0**	3.9**	0.04	9.4**	7790.5**	1.82
Bloques	0.9	1032.9	428.0	0.9	3.7	6.4**	0.09*	2.5	3255.2	1.85
Coefficiente de variación (%)	16.4	11.4	12.3	1.3	1.6	6.4	3.1	1.7	8.6	1.1
Media	8.6	214.3	103.8	78.5	80.4	16.1	4.7	76.6	548.5	86.4

*Significativo al 0.05 de probabilidad de error. **Altamente Significativo al 0.01 de probabilidad de error. RG=Rendimiento de grano AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca; FM= Floración masculina; FF=Floración femenina; LM=Longitud de mazorca; DM= Diámetro de mazorca PV= Peso volumétrico; Gra/mca= Granos por mazorca.

En la prueba de comparación de medias de los nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre evaluados (Cuadros 5 y 6), se observó que para rendimiento de grano (RG), CUXI PUMA e IXIM PUMA fueron superiores 78 y 76% con respecto a H 53 AE. Los

rendimientos de CUXI PUMA e IXIM PUMA mostraron valores importantes, puesto que son altos en comparación con los que obtuvieron Alonso et al. (2020), quienes reportan 7.49 y 7.02 t ha⁻¹ bajo condiciones de temporal, así como 8.41 y 7.85 t ha⁻¹ respectivamente, bajo punta de riego.

Cuadro 5. Comparación de medias para nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz evaluados para producción de grano. Ciclo primavera – verano 2022.

Genotipos	RG (t ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)
CUXI PUMA	10.3 a	79.0 ab	80.3 b	220.3 a	119.0 b
IXIM PUMA	10.2 a	78.0 b	79.6 b	205.3 a	109.0 cbd
VAR CEDILLO	9.5 ab	81.3 a	87.0 a	263.3 a	174.0 a
TSIRI PUMA	9.1 ab	77.6 b	78.3 b	216.3 a	102.0 cbd
H-49 AE	8.8 ab	78.0 b	79.6 b	215.0 a	72.7 d
TLAOLI PUMA	8.8 ab	77.6 b	79.3 b	191.7 a	81.6 cd
ATZIRI PUMA	8.4 ab	78.3 ab	81.6 b	207.3 a	91.7 cbd
(IA442 F X IA446) X MIA46	8.1 ab	78.0 ab	79.0 b	199.3 a	79.0 cd
H 50	6.8 ab	78.6 ab	80.0 b	221.6 a	114.3 cb
H-53 AE	5.8 b	79.0 ab	79.6 b	203.0 a	95.0 cbd
DMS (0.05)	4.1	3.0	3.8	71.8	37.3

a, b, c, d = medias con diferente literal en la misma columna son diferentes. DMS= Diferencia mínima significativa; RG=Rendimiento de grano; FM=Floración masculina; FF=Floración femenina; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca.

La floración masculina (FM) en la Variedad Cedillo se presentó a los 81 días y fue diferente ($P < 0.05$) en comparación con IXIM PUMA, TSIRI PUMA, H-49 AE y TLAOLI PUMA en las que se presentó a los 78 días. Para el caso de floración femenina (FF) nuevamente la Variedad Cedillo presentó una diferencia de 8 días en relación con los demás genotipos. Cabe resaltar que la Variedad Cedillo tuvo una asincronía floral de 6 días; a pesar de esto no se encuentra una clara asociación con el rendimiento, puesto que este fue uno de los híbridos que obtuvo mayor rendimiento (9.5 t ha⁻¹), esto lo confirman Zarco et al. (2005), quienes señalan que la asincronía floral pudiera considerarse un síntoma del déficit hídrico más que una causa directa del aborto de granos.

Por otro lado, es importante resaltar que la floración tanto masculina como femenina se presentaron 7-9 días antes en comparación con los informados por Tadeo et al. (2016), Tadeo et al. (2021); Tadeo et al. (2021) y Espinosa et al. (2022); esto podría atribuirse a la poca precipitación que se tuvo durante el ciclo, ya que el proceso de maduración de los pistilos depende en gran medida de las condiciones ambientales que rodean a la planta (Borrás et al., 2007), esto quiere decir que, si algún factor le hace falta a la planta esta acelerará su ciclo reproductivo para sobrevivir.

Para las variables, altura de planta (AP), Diámetro de mazorca (DM) y porcentaje de grano no se presentaron diferencias significativas entre los genotipos evaluados

La mayor altura de mazorca (AM), la tuvo la Variedad Cedillo, siendo diferente ($P < 0.05$) en comparación con el resto de los genotipos. Es importante resaltar que, tanto la altura de planta como de mazorca, fueron menores a las reportadas por Tadeo et al. (2021) y Tadeo et al. (2022), esto nuevamente podría atribuirse al temporal que se presentó en el año, puesto que durante el ciclo del cultivo se obtuvo 490.3 mm de precipitación acumulada y de acuerdo con INIFAP (2012) para tener un rendimiento óptimo se necesita una precipitación de entre 700 a 1,300 mm, ya que el cultivo de maíz puede tener reducciones de 28 a 32% de biomasa, bajo condiciones de estrés hídrico, si este ocurre durante las etapas vegetativa y de panoja, puesto que reduce la altura de la planta, así como el desarrollo del área foliar (Cakir, 2004).

En lo que concierne a la longitud de mazorca, se mostró superior ($P < 0.05$) la Variedad Cedillo la cual obtuvo 19.0 cm, en comparación con CUXI PUMA, IXIM PUMA, TLAOLI PUMA, (IA442 F X IA446) X MIA46 y H-53 AE, las cuales obtuvieron 15.3 cm, el valor obtenido por Variedad Cedillo es importante, puesto que la mazorca es más grande en comparación con 12

híbridos de maíz en Valles Altos, donde se obtuvieron valores que van desde 14.4 a 16.7 cm (Tadeo et al., 2012).

Para el caso de peso volumétrico (PV) el genotipo (IA442 F X IA446) X MIA46 fue superior ($P < 0.05$) 5.3 y 8.9% con respecto a H 50 y VARIEDAD CEDILLO. Esto muestra que (IA442 F X IA446) X MIA46 tiene mayor calidad de grano puesto que supera al valor mínimo requerido por la NMX-FF-034/1-SCFI-2020, donde especifica que la industria de la masa y la tortilla y de harina nixtamalizada demandan granos con un PV mayor a 74 kg hL^{-1} , ya que el peso volumétrico es un factor relacionado con la dureza, susceptibilidad a ruptura, rendimientos de molienda, velocidad de secado, condiciones generales del grano y resistencia al desarrollo de hongos (CIMMYT, 2018). De modo que, cuanto más sanos (denso) tienen menos probabilidad de ser dañados por insectos y mejores posibilidades de soportar el manejo durante el almacenamiento y comercialización, lo cual pone a (IA442 F X IA446) X MIA46 como un genotipo atractivo a los productores, desde el punto de vista de calidad.

Cuadro 6. Continuación. Comparación de medias para nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz evaluados para producción de grano. Ciclo primavera – verano 2022.

Genotipos	LM (cm)	DM (cm)	PV (Kg hL ⁻¹)	Gra/mca	Grano (%)
CUXI PUMA	15.3 b	4.8 a	77.5 ab	542.3 ab	86.3 a
IXIM PUMA	15.3 b	4.7 a	77.4 ab	488.0 b	85.6 a
VAR CEDILLO	19.0 a	4.8 a	72.7 c	675.0 a	86.8 a
TSIRI PUMA	16.3 ab	4.6 a	76.7 ab	533.3 b	87.3 a
H-49 AE	17.0 ab	4.5 a	77.5 ab	524.7 b	86.6 a
TLAOLI PUMA	15.6 b	4.7 a	76.7 ab	546.3 ab	85.5 a
ATZIRI PUMA	16.3 ab	4.8 a	75.9 abc	558.0 ab	85.7 a
(IA442 F X IA446) X MIA46	15.3 b	4.5 a	79.2 a	520.3 b	86.0 a
H 50	16.0 ab	4.9 a	75.2 bc	580.3 ab	87.9 a
H-53 AE	15.3 b	4.6 a	77.6 ab	517.3 b	86.6 a
DMS (0.05)	3.1	0.4	3.8	138.4	2.7

a, b, c, = medias con diferente literal en la misma columna son diferentes. DMS= Diferencia mínima significativa; LM=Longitud de mazorca; DM= Diámetro de mazorca; PV= Peso volumétrico; Gra/mca= Granos por mazorca.

4.2. Experimento 2. Determinación de producción, proteína y digestibilidad de forraje de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz

El análisis de varianza (Cuadro 7) presenta la significancia obtenida para las diversas variables analizadas. Para el factor de variación genotipos, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en digestibilidad y altamente significativas ($P < 0.01$), en materia seca. Por otro lado, para el factor de variación bloques, hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en porcentaje de mazorca. No se encontraron diferencias en las demás variables.

Cuadro 7. Cuadrados medios y significancia estadística al evaluar la producción de forraje de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz en Valles Altos de México. Ciclo primavera – verano 2022.

Factor de variación	RFV (t ha ⁻¹)	RFS (t ha ⁻¹)	MS (%)	Mca (%)	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
Genotipos	106.1	15.5	17.0**	100.8	0.29	38.9*
Bloques	31.2	3.2	0.8	317.7*	0.06	20.4
Coefficiente de variación (%)	16.5	19.5	1.9	28.5	7.1	6.6
Media	52.2	14.5	22.7	28.3	8.7	59.8

*Significativo al 0.05 de probabilidad de error. **Altamente Significativo al 0.01 de probabilidad de error. RFV=Rendimiento de forraje verde; RFS=Rendimiento de forraje seco; MS=Materia seca Mca=Mazorca.

En el Cuadro 8 se observa la prueba de comparación de medias para las diferentes variables analizadas, donde en la variable rendimiento de forraje verde (RFV) no se presentaron diferencias ($P < 0.05$) entre los genotipos evaluados; sin embargo, H-53 AE presentó un rendimiento de 59.4 t ha⁻¹; y se obtuvo una media de 52.2 t ha⁻¹ siendo estos rendimientos más elevados que los reportados por Gutiérrez et al. (2022), quienes obtuvieron una media de 42.6 t ha⁻¹ en un híbrido comercial de Syngenta.

Para rendimiento de forraje seco (RFS), no existieron diferencias ($P < 0.05$) entre genotipos; sin embargo, IXIM PUMA y (IA442 F X IA446) X MIA46 presentaron los valores más altos (17.8

y 17.4 t ha⁻¹), pero se obtuvo una media de 14.5 t ha⁻¹ la cual es más alta en comparación con los reportados por Gutiérrez et al. (2022), quienes obtuvieron una media de 11.1 t ha⁻¹ en Matamoros Coahuila; por otro lado, se obtuvieron valores similares a los de López et al. (2015) quienes reportaron una media de 14.6 t ha⁻¹ en la comarca Lagunera, Matamoros, Coahuila.

En porcentaje de materia seca (MS) IXIM PUMA (27.3%) fue superior ($P < 0.05$) en comparación con ATZIRI PUMA y Variedad Cedillo (20.7 y 18.6% respectivamente), se obtuvo una media de 22.7%, este bajo valor podría atribuirse a que se cosechó antes de tiempo; de acuerdo con Amador y Boschini (2000) el contenido de materia seca en el tallo antes de los 120 días de crecimiento y en hojas antes de los 80 días es bajo, para ser empleado como forraje en la alimentación del ganado. De igual manera González, Peña y Núñez (2006) reportaron que el porcentaje de materia seca está directamente relacionado con el tiempo de cosecha y esta es diferente para cada híbrido debido a las diferencias de senescencia floral, reportando que un híbrido precoz tuvo mayor porcentaje de materia seca al cosecharse entre 1/2 a 2/3 de avance en la línea de leche y un híbrido intermedio tuvo un mayor porcentaje de materia seca cuando se cosechó en la etapa de grano masoso, hasta 2/3 de línea de leche.

En la comparación de medias de los genotipos, para las variables de proteína y digestibilidad que representan la calidad de forraje no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$), lo cual es un buen indicador de la calidad forrajera que tiene cada uno de ellos, ya que todos se ubicaron dentro de valores aceptables para dichas variables, conviene enfatizar que nuestra media para proteína fue de 8.7 % siendo mayor a lo reportado por Robles et al. (2017) quienes reportaron 6.6% de proteína en 7 híbridos de maíz amarillo. En el caso de Digestibilidad se obtuvo una media de 59.87% lo que se podría considerar bajo de acuerdo con lo reportado por Velasco et al. (2022) y Zaragoza et al. (2021) quienes reportaron 68.2 y 68.1 % de digestibilidad

in vitro en diferentes híbridos evaluados, este bajo valor podría atribuirse al bajo porcentaje de mazorca obtenido puesto que los maíces con alto contenido de lisina y endospermo suave pueden ser fácilmente degradados por los microorganismos del rumen, lo que permite que sean más digeridos (Ferret et al. 1997; Dado, 1999).

Cuadro 8. Comparación de medias para nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz evaluados para producción de forraje. Ciclo primavera – verano 2022.

Genotipos	RFV (t ha ⁻¹)	RFS (t ha ⁻¹)	MS (%)	Mca (%)	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
H-53 AE	59.4 a	16.6 a	24.9 ab	20.8 a	9.0 a	62.2 a
(IA442 F X IA446) X MIA46	58.9 a	17.4 a	24.2 abc	25.5 a	8.6 a	54.4 a
TLAOLI PUMA	55.0 a	14.8 a	22.2 abc	29.9 a	8.1 a	61.7 a
IXIM PUMA	54.9 a	17.8 a	27.3 a	31.0 a	8.6 a	62.2 a
VAR CEDILLO	54.36 a	12.9 a	18.6 c	29.6 a	8.7 a	65.5 a
CUXI PUMA	52.8 a	14.2 a	21.5 abc	34.8 a	8.5 a	58.9 a
H 50	51.5 a	14.2 a	21.9 abc	17.1 a	9.3 a	60.0 a
TSIRI PUMA	49.7 a	14.3 a	23.3 abc	33.7 a	8.6 a	55.0 a
ATZIRI PUMA	46.3 a	11.7 a	20.7 bc	27.1 a	8.5 a	56.6 a
H-49 AE	39.5 a	11.0 a	22.4 abc	33.6 a	8.7 a	62.2 a
DSH (0.05)	25.3	8.3	5.8	23.6	1.8	11.5

a, b, c, d = medias con diferente literal en la misma columna son diferentes. RFV=Rendimiento de forraje verde; RFS=Rendimiento de forraje seco; MS=Materia seca Mca=Mazorca.

4.3. Experimento 3. Determinación de producción, proteína y digestibilidad de rastrojo de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz

En el Cuadro 9, se muestra los niveles de significancia obtenidas para las diferentes variables evaluadas. Donde únicamente para el factor de variación genotipos, se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en rendimiento en base húmeda y rendimiento en base seca. No se presentaron diferencias en porcentaje de materia seca, proteína y digestibilidad.

Cuadro 9. Cuadrados medios y significancia estadística al evaluar la producción de rastrojo de nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz en Valles Altos de México. Ciclo primavera – verano 2022.

Factor de variación	RRH (t ha ⁻¹)	RRS (t ha ⁻¹)	MS (%)	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
Genotipos	20.2**	14.3**	12.6	0.50	50.0
bloques	1.4	1.2	39.6	0.53	12.1
Coefficiente de variación (%)	9.7	8.7	4.0	15.9	13.0
Media	8.3	7.7	93.5	4.6	46.9

*Significativo al 0.05 de probabilidad de error. **Altamente Significativo al 0.01 de probabilidad de error. RRH= Rendimiento rastrojo húmedo; RRS= Rendimiento rastrojo seco; MS= Materia seca.

Para la prueba de comparación de medias (Cuadro 10) en las variables rendimiento de rastrojo húmedo (RRH) y rendimiento rastrojo seco (RRS) se encontraron tres y cuatro grupos de significancia respectivamente, ubicándose a VARIEDAD CEDILLO con el mayor rendimiento en húmedo y en seco (15.1 t ha⁻¹ y 13.5 t ha⁻¹ correspondientemente), superior (P<0.05) estadísticamente a los demás híbridos. Este valor es alto si se compara con los resultados reportados por Muñoz (2011), quien, para las variedades locales de los valles altos de Puebla tuvo rendimientos de 6.2 a 5.0 t ha⁻¹.

En cuanto a las demás variables materia seca (MS), porcentaje de proteína y digestibilidad, no se mostraron diferencias.

Es importante resaltar a H-49 AE debido a que presentó el porcentaje de proteína más alto (5.3%), siendo un valor mayor al reportado por Fuentes et al. (2001) quienes reportaron 4.9% de proteína cruda en rastrojo; sin embargo, Duarte y Shimada (1984) encontraron un incremento de 148% de proteína, al tratar rastrojo de maíz molido con NH₃, lo que podría ser una alternativa para mejorar la calidad del rastrojo.

Para digestibilidad *in vitro* el valor más alto lo obtuvo IXIM PUMA con un 53.3%, siendo un valor similar al obtenido por Sánchez et al. (2012), quienes obtuvieron 57.3% de digestibilidad en rastrojo de maíz y un 61.3% de digestibilidad en rastrojo tratado con urea.

Cuadro 10. Comparación de medias para nueve híbridos élite y una variedad de polinización libre de maíz evaluados para producción de rastrojo. Ciclo primavera – verano 2022.

Genotipos	RRH (t ha ⁻¹)	RRS (t ha ⁻¹)	MS (%)	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
VAR CEDILLO	15.1 a	13.4 a	90.9 a	4.8 a	48.9 a
CUXI PUMA	9.4 b	8.9 b	95.1 a	4.1 a	50.0 a
H 50	9.2 b	8.1 bc	89.5 a	4.4 a	45.0 a
ATZIRI PUMA	7.8 bc	7.0 bcd	92.0 a	4.8 a	46.6 a
TLAOLI PUMA	7.7 bc	7.2 bcd	93.3 a	4.8 a	45.5 a
H-49 AE	7.4 bc	7.0 bcd	94.6 a	5.3 a	48.9 a
TSIRI PUMA	7.1 bc	6.8 cd	95.4 a	5.1 a	47.7 a
IXIM PUMA	6.8 c	6.5 cd	95.0 a	4.5 a	53.3 a
(IA442 F X IA446)	6.5 c	6.1 d	94.0 a	4.0 a	45.6 a
X MIA46					
H-53 AE	6.3 c	6.0 d	95.2 a	4.5 a	37.7 a
DSH (0.05)	2.3	1.9	10.9	2.1	17.9

a, b, c, d = medias con diferente literal en la misma columna son diferentes. RRH= Rendimiento rastrojo húmedo; RRS= Rendimiento rastrojo seco; MS= Materia seca.

V. CONCLUSIONES

Para los productores de Valles Altos de México existe la necesidad de utilizar genotipos que produzcan altos rendimientos de grano y forraje de calidad; por lo tanto, es necesario la búsqueda y generación de genotipos de doble propósito; no obstante, con los resultados obtenidos en esta investigación, no es fácil encontrar genotipos que cuenten con estas cinco características, altos rendimientos de grano, forraje y rastrojo, así como altos porcentajes de proteína y digestibilidad.

A pesar de ello, se puede resaltar a CUXI PUMA e IXIM PUMA por los altos rendimientos de grano (10.3 y 10.2 t ha⁻¹) en comparación con los demás híbridos; para rendimiento de forraje sobresalieron IXIM PUMA y (IA442 F X IA446) X MIA46 con valores de 17.8 y 17.4 t ha⁻¹ respectivamente; por otro lado, VARIEDAD CEDILLO obtuvo mayor rendimiento de rastrojo (13.5 t ha⁻¹). El porcentaje de proteína en forraje fue alto en todos los híbridos, obteniéndose una media de 8.7% dichos resultados son similares a los obtenidos en Valles Altos por diversos autores. En rastrojo se obtuvo una media de 4.6 y 47% de proteína y digestibilidad respectivamente; sin embargo, estas características podrían mejorarse si se trata el rastrojo con NH₃ o Urea.

Por consiguiente, se pueden sentar las bases para iniciar un mejoramiento genético más integral o bien llevar a cabo una serie de experimentos para tener mayor certeza en las posibles variaciones que se pudieran encontrar.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. (23 de agosto 2018). *Maíz grano cultivo representativo de México*.
<https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico#:~:text=El%20ma%C3%ADz%2C%20es%20uno%20de,importancia%20econ%C3%B3mica%2C%20social%20y%20cultural>
- Alonso Sánchez, H., Tadeo Robledo, M., Espinosa Calderón, A., Zaragoza Esparza, J., y López López, C. (2020). Productividad del agua y rendimiento de maíz bajo diferente disponibilidad de humedad. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(5), 1005-1016.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2118>
- Amador R., A. L., y Boschini F., C. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 171-177.
- Amendola M., R. (11 y 12 de agosto de 2016). *Conservación de alimentos para pequeños rumiantes*. [Resumen de presentación de la conferencia]. Octavo Congreso Internacional del Borrego y la Cabra 2016. https://www.borrego.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/conservacion_de_alimentos_en_pequenos_rumiantes.pdf
- Anónimo (7 de junio de 2016). *Tienen problemas con maíz forrajero en Gómez Palacio*. Panorama agrario. <https://panoramaagrario.com/2016/06/tienen-problemas-maiz-forrajero-gomez-palacio/>
- Argamentería G., A., De la Roza, B., Martínez, A., Sánchez, L. y Martínez A. (1997). El ensilado en Asturias. *Pastos*, 28(1), 109.
- Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales. (2012). Official methods of analysis of AOAC International (19 ed., Vol. 1). Washington, D.C. USA. 672p.
- Avila Perches, M. A., Arellano Vázquez, J. L., Virgen Vargas, J., y Gámez Vázquez, A. J. (2009). H-52 híbrido de maíz para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 35(2), 237-240.
- Bates G. (1999). Corn silage. Extension Tennessee University. [Archivo PDF] <http://uextension.tennessee.edu/publications/documents/sp434d.pdf>.
- Blümmel, M., Grings, E., Erenstein, O. (2013). Potential for dual-purpose maize varieties to meet changing maize demands: *Synthesis. Field Crops Research*. 153: 107- 112.
- Borja Bravo, M., Reyes Muro, L., Espinosa García, J. y Vélez Izquierdo, A. (2016). Estructura y funcionamiento de la cadena productiva de esquilmos agrícolas como forraje en la región del Bajío, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 39(), pp. 451-464

- Borrás, L., Westgate, E., Astini, J.P., Echarte, L. (2007). Coupling time to silking with plant growth rate in maize. *Field Crops Research*, 102(1):73-85
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.02.003>
- Bruno, O.A, Romero, L.A y Ustarroz E. (1997). *Forrajes conservados. Invernada bovina en zonas mixtas*. Agro 2 de Córdoba. Capítulo III: 58-92. INTA, Centro Regional de Córdoba. Argentina.
- Caballero Salinas, J. C., Moreno Reséndez, A., Reyes Carrillo, J. L., Silvestre García Valdez, J., López Báez, W., y Jiménez Trujillo, J. A. (2017). Competencia del uso del rastrojo de maíz en sistemas agropecuarios mixtos en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (1), 89-102.
- Cakir R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89: 1 – 16.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005>
- Cañete M. V. y Sancha. J.L. (1998). Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes, *Mundi Prensa*
- Carbajal B. (21 de diciembre de 2022). Cerrará México 2022 con gasto histórico en importación de maíz. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/12/21/economia/cerrara-mexico-2022-con-gasto-historico-en-importacion-de-maiz/>
- Castle, M.E. (1982). Making high quality silage. In: Silage for milk production (J.A.F. ROOK and P.C. THOMAS, eds.) *Technical Bulletin 2*. NIRD-HRI. College of Estate Management.
- Catholic Relief Services (2015). *Conservación de forrajes. Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente*. [Archivo PDF].
- Cedeño, G., Acosta, J., Rubio, R., y Waugh, K. (1981). *Silos y ensilaje*. Programa Nacional de Ganado de Leche Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (15 de octubre de 2019). *El rastrojo: ¿basura o tesoro?* <https://idp.cimmyt.org/el-rastrojo-basura-o-tesoro/>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2018). *Calidad nutricional e industrial de maíz. Laboratorio de Calidad nutricional de maíz “Evangelina Villegas”*. [Archivo PDF]. <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/19667/59829.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Qué nos aportan los maíces*. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_maices.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Razas de maíz de México*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.

- Dado R. (1999). Nutritional benefits of spatiality corn grain hybrids in dairy diets. *Animal Science*, 77(2), 197-207.
- Di Santo, H, Castillo, E, Ferreira, A, Grassi, E, y Ferreira, V. (2012). La aptitud combinatoria específica en el maíz (*Zea mays* L. ssp. *mays*) para doble propósito en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. *BAG. Journal of basic and applied genetics*, 23(2)
- Duarte, J.A.; Shimada, A. (1984). Comportamiento del borrego pelibuey en crecimiento alimentado con dietas con base en rastrojo de maíz tratado con álcalis (NH₃, NaOH y urea). *Tec. Pec. Mex.* 47:141-146
- Eagless, H. A. y Lothrop, J. E. (1994). Highland maize from Central Mexico-the origin, characteristics, and use in breeding programs. *Crop*. 34:11-20.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400010002x>
- Elizondo Salazar, J.A., (2017). Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (2), 329-340.
<https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23418>
- Espinosa Calderón, A., Tadeo Robledo, M., Zamudio González, B., Virgen Vargas, J., Turrent Fernández, A., Rojas Martínez, I., Gómez Montiel, N., Sierra Macías, M., López López, C., Palafox Caballero, A., Vázquez Carrillo, G., Rodríguez Montalvo, F., Canales Islas, E. I., Zaragoza Esparza, J. A., Martínez Yañez, B., Valdivia Bernal, R., Cárdenas Marcelo, A. L., Mora García, K. Y., y Martínez Nuñez, B. (2018). H-47 AE, Híbrido de maíz para Valles Altos de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(1), 87-89.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.87-89>
- Espinosa Calderón, A., Tadeo Robledo, M., Turrent Fernandez, A., y Gómez Montiel, N. (2010). El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias*, 92(092).
- Espinosa Calderón, A., Tadeo Robledo, M., Zamudio González, B., Turrent Fernández, A., Gómez Montiel, N. y Sierra Macías, M. (2022). H 49 AE: híbrido de maíz para Valles Altos de México con androesterilidad para producción de semilla. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1333–1338. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.1768>
- Ferret, A., Gasa, J., Plaixats, J., Casañas, F., Bosch, L., y Nuez, F. (1997). Prediction of voluntary intake and digestibility of maize silages given to sheep from morphological and chemical composition, in vitro digestibility, or rumen degradation characteristics. *Animal Science*, 64(3), 493-501. doi:10.1017/S1357729800016118
- Fuentes, J., Magaña, C., Suárez, L., Peña, R., Rodríguez, S., y Ortiz de la Rosa, B. (2001). Análisis químico y digestibilidad “in vitro” de rastrojo de maíz (*zea mays* l.). *Agronomía Mesoamericana*, 12 (2), 189-192.
- Garcés Molina, A.M., Berrio Roa, L., Ruíz Álzate, S., Serna D’León, J.G., y Builes Arango, A.F. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista de Investigación*, 1 (1), 66-71.

- Gaytán Bautista, R., Martínez Gómez, Ma. I. y Mayek Pérez, N. (2009). Rendimiento de grano y forraje en híbridos de maíz y su generación avanzada F2. *Agricultura técnica en México*, 35(3), 295-304.
- Gil Muñoz, A. (2006). Introducción al Fitomejoramiento en Cultivos Anuales. *COLPOS-Altres Costa-Amic* Editores, Puebla.
- González F., Peña A. y Núñez G. (2006). Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29. 2.
- Gutiérrez Guzmán, U.N., Ríos Vega, Ma. E., Núñez Hernández, G., Esquivel Romo, A., Vázquez Navarro, J.M., y Anaya Salgado, A. (2022). Producción de maíz forrajero con dos sistemas de riego y tres niveles de la evaporación aplicada. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(spe28), 263-273. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3281>
- Hiriart, M. (1998). Ensilados: Procesamiento y calidad. *Trillas*
- Honig, H. y Woolford, M K. (1980). *Cambios en el ensilado por exposición al aire*. C. Thomas (ed.) *Conservación de Forrajes en los años 80*. Simposio Ocasional BGS, No.11. Hurley, Reino Unido: Sociedad Británica de Pastizales.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Publicación especial No. 8.
- López Binnquist, R. (9 de julio de 2019). *En riesgo, cultivo de maíz en México/Entrevistada por Claudia Peralta Vázquez*. Sistema de noticias de la Universidad Veracruzana. <https://www.uv.mx/prensa/reportaje/en-riesgo-cultivo-de-maiz-en-mexico/#:~:text=%20En%20México%2C%20el%20proceso%20de,que%20reemplazan%20a%20las%20nativas>.
- López Calderón, M.J., Figueroa Viramontes, U., Fortis Hernández, M., Núñez Hernández, G., Ochoa Martínez, E., y Sánchez Duarte, J.I. (2015). Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*). *Phyton* (Buenos Aires), 84(1), 8-13.
- Macedo, R. J. (2000). *Análisis del sistema de alimentación pecuario rastrojo de maíz alimenticio pecuario (Zea mays L.); pasto estrella (Cynodon plectostachyus P.) en la zona norte del estado de Colima*. [Tesis doctoral: Universidad de Colima] https://sistemas.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen207.htm
- Martínez Gutierrez, 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>
- Mc Cullough M.E. (1984). Feeding quality silage. *Animal Nutrition and Health*; 39, 30-35.

- Medina, F. (2018). *Rendimiento y valor nutricional de forraje en híbridos de maíz*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Mercado Mancera, G., Ramírez Rodríguez, M., Vizcarra Hernández, I., López Antonio, H., López Vargas, D; Granados Mayorga, A; Reyes Landa, D; Chaires Montecinos, B. (2014). *Distribución y probabilidad de la lluvia en Cuautitlán Izcalli, Estado de México*. [Memorias]. Congreso Mexicano de Meteorología de la OMMAC.
- Munguía Aldama, J., Sánchez Plata, F., Vizcarra Bordi, I., y Rivas Guevara, M. (2015). Estrategias para la producción de maíz frente a los impactos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales*, XXI (4), 538-547.
- Muñoz Orozco A (2005) *Centli-maíz: prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli-maíz*. Colegio de Postgraduados.
- Muñoz Tlahuiz, F., Guerrero Rodríguez, J., López, P., Gil Muñoz, A., López Sánchez, H., Ortiz Torres, E., Hernández Guzmán, J. A., Taboada Gaytán, O., Vargas López, S., y Valadez Ramírez, M. (2013). Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(4), 515-530.
- Muñoz, F. (2011). *Producción, valor nutricional y aprovechamiento del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán, Puebla, México*. [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]
http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/602/Munoz_Tlahuiz_F_MC_EDAR_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- NMX-FF-034/1-SCFI-2020- *Productos alimenticios para uso humano no industrializados-cereales-maíz-parte 1: granos para tortillas y productos nixtamalizados-especificaciones y métodos de prueba*. (02 de mayo del 2022). Diario Oficial de la Federación.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022). *Datos sobre alimentación y agricultura*. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Paliwal R.L., Granados G., Lafitte H.R., Violic A.D. y Marathee J.P. (2001) El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Usos del maíz. En: Colección FAO: *Producción y Protección Vegetal*, N° 28. FAO, Rome (Italy).
- Robles Jimenez, L. E., Ruiz-Pérez, J. A., Morales-Osorio, A., Gutiérrez-Martínez, M. D. G., y González-Ronquillo, M. (2017). Producción de forraje, composición química y producción de gas in vitro de maíces híbridos amarillos cultivados en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), 373-379.
- Sánchez Acosta, E., Ortega Cerrilla, M.E., Mendoza Martínez, G.D., Montañez Valdez, O.D., y Buntin Dios, S.E. (2012). Rastrojo de maíz tratado con urea y metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento. *Interciencia*, 37 (5), 395-399.

- Sánchez G., Goodman, M. M., y Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and Morphological Diversity in the Races of Maize of Mexico. *Economic Botany*, 54(1), 43–59.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (28 de agosto de 2022). *Semillas mejoradas, promotoras de una agricultura eficiente y con tecnología*.
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/semillas-mejoradas-promotoras-de-una-agricultura-eficiente-y-con-tecnologia>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022). *Panorama Agroalimentario 2022*.
https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2022/Panorama-Agroalimentario-2022
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (11 de enero de 2023). *Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (en línea)*.
<https://www.gob.mx/snics/articulos/catalogo-nacional-de-variedades-vegetales-en-linea?idiom=es>
- Tadeo Robledo, M., Espinosa Calderón, A. y García Zavala, J. (2016). Tsíri puma, híbrido de maíz para valles altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Rev. fitotec. mex*, 39(3), 1-3.
- Tadeo Robledo, M., Espinosa Calderón, A., Canales Islas, E., López López, C., Andrés Meza, P., y Zamudio González, B. (2022). Atziri Puma: híbrido de maíz de grano blanco para Valles Altos de México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1339–1343.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.2397>
- 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
- Tadeo Robledo, M; Espinosa Calderón, A; Zaragoza Esparza, J; López, C; Canales Islas, E; Zamudio González, B; Turrent, A. Virgen Vargas, J. Sierra Macías, M; Gómez Montiel, N; Mora García, K; Andres Meza, P. y Cárdenas Marcelo, A. (2021). Tlaoli puma, híbrido de maíz para grano y forraje con androesterilidad y restauración de la fertilidad masculina. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 44. 265.
- Tilley, J. M. and Terry, R. A. (1963). A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Brit Grassland Soc.* (18):104-111.
- Torres, J. L. (2008). *Comportamiento de híbridos triples de maíz de diferentes zonas ecológicas en los Valles Altos de México*. [54 Reunión anual PCCMCA], San José, Costa Rica
- Turrent, A., Wise, T., Garvey, E. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mexican Rural. Development Research*.
- Ureta C., González E., Espinosa, A., Trueba A., Piñeyro Nelson, A. y Álvarez Buylla E. (2020). Maize yield in Mexico under climate change, *Agricultural Systems*, 177, 102697
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>

- Vargas, J. M., Mendoza, G. D., Rubio-Lozano, M. S., Castrejón, F. A. (2013). Effect of exogenous fibrolytic enzymes on the carcass characteristics and performance of grain-finished steers. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 13: 435-440.
- Velasco Macias, Saúl, Tadeo Robledo, Margarita, Espinosa Calderón, Alejandro, Zaragoza Esparza, Joob, Canales Islas, Enrique, y Coutiño Estrada, Bulmaro. (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>
- Virgen Vargas, J., Zepeda Bautista, R., Avila Perches, M. A., Espinosa Calderón, A., Arellano Vázquez, J.L., y Gámez Vázquez, A.J. (2016). Producción y calidad de semilla de maíz en valles altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 191-206.
<https://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21899>
- Woolford, M. K. (1984). The silage fermentation. *Microbiol.* (14). *Marcel Dekker*, New York.
- Zaragoza Esparza J., Medina Fernández Ma. F., Tadeo Robledo M., Espinosa Calderón A., López López C., Canales Islas E., Chávez Gordillo A. y Alonso Sánchez H. (2021). Productividad y calidad de forraje de híbridos trilineales de maíz para Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 44 (4): 537 - 544, 2021.
<https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/44-4/6a.pdf>
- Zaragoza, E. (2018). *Apuntes de Producción de Forrajes y Manejo de Pastizales*. [Archivo PDF].
- Zarco Perelló, E., González Hernández, VA, López Peralta, MC, y Salinas Moreno, Y. (2005). Marcadores fisiológicos de la tolerancia a la sequía en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 39 (5), 517-528.
- Zardin P. B., Velho, J. P., Jobim, C. C., Alessio, D. R., Haygert-Velho, I. M., da Conceição, G. M. y Almeida, P. S. (2017). Chemical composition of corn silage produced by scientific studies in Brazil – A meta-analysis. *Semina: Ciências Agrárias* 38:503-512,
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n1p503>