



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Calidad de forraje y rastrojo de los híbridos Tsíri Puma,
H 47 AE y H 53 AE, bajo dos densidades de población**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTA:

LUIS ARTURO CHÁVEZ GORDILLO

ASESOR

DR. JOOB ANASTACIO ZARAGOZA ESPARZA

COASESOR

DR. ENRIQUE INOSCENCIO CANALES ISLAS

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
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

Calidad de forraje y rastrojo de los híbridos Tsiri Puma, H 47 AE y H 53 AE, bajo dos densidades de población

Que presenta el pasante: LUIS ARTURO CHÁVEZ GORDILLO
Con número de cuenta: 41310015-3 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería 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 de de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Edgar Ornelas Díaz	
VOCAL	Dra. Margarita Tadeo Robledo	
SECRETARIO	Dr. Joab Anastasio Zaragoza Esparza	
1er. SUPLENTE	M.C. Oscar Arellano Díaz	
2do. SUPLENTE	M.C. Consuelo López López	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm*

DEDICATORIAS

A mi madre Teresa Gordillo, ya que a ella se lo debo todo. Quiero darte las gracias por haberme dado la vida, por nunca darte por vencida y hacer de mí una buena persona. Gracias mamá por tus enseñanzas, consejos, regaños, cariño y amor, sin ti no hubiera llegado tan lejos.

A toda mi familia, a mí hermana Mariana Chávez, a Héctor Fernández, a mí abuela Rosa Arroyo y a todos los tíos que tengo. Gracias por su apoyo moral e incondicional.

A Alondra Sánchez, por dedicarme su tiempo durante estos seis años juntos. Gracias por todo tu amor, cariño, apoyo y motivación para nunca darme por vencido.

A mi abuelo Miguel Gordillo, que aunque ya no esté físicamente conmigo, sé que estaría orgulloso de lo que hasta ahora he logrado. .

A mi padre Arturo Chávez Bringas, gracias papá.

AGRADECIMIENTOS

A la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme dado la oportunidad de formar parte de ella, de abrirme las puertas y brindarme todo el conocimiento para cumplir mis objetivos.

A la Facultad de estudios Superiores Cuautitlán, a la carrera de Ingeniería Agrícola, por darme las herramientas y la formación de un buen profesionista.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT: IT201618), por proporcionar recursos económicos para la realización de éste trabajo.

Agradezco a la Dra. Margarita Tadeo Robledo y al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por permitirme formar parte de su equipo y darme todo su apoyo para culminar con éxito mi trabajo.

Al Dr. Joob A. Zaragoza Esparza, le agradezco su paciencia, sus consejos y su apoyo a lo largo de la realización de ésta investigación. Sin duda es un gran maestro y sobre todo un gran amigo. Me queda la satisfacción de haberlo conocido en esta etapa de mi vida.

Agradezco a mis sinodales a la M.C. Consuelo López López, al M.C. Oscar Arellano Díaz y al I.A. Edgar Ornelas Díaz por el apoyo brindado, las observaciones y la evaluación de mi trabajo.

A todo el equipo de semillas, ya que se convirtieron en mi segunda familia. Al Dr. Enrique Canales, a los Ingenieros Agrícolas Julio García Espinosa e Israel Arteaga Escamilla, a Alan Monter, a Orlando Ramírez, y a mis demás compañeros, gracias por su apoyo incondicional y ánimos para terminar mi tesis.

Al I.A. Saúl Velasco Macías y a Carlos Ortega por su amistad tan sincera, son mis hermanos de otra madre. Sé que siempre voy a poder contar con ustedes, gracias por todo.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS	vi
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	2
1.1.1. General.....	2
1.1.2. Específico.....	2
1.2. Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Descripción botánica del maíz	3
2.1.1. Clasificación.....	3
2.1.2. Tallo.....	3
2.1.3. Hojas	3
2.1.4. Flores	3
2.1.5. Grano	4
2.1.6. Sistema radical.....	4
2.2. Requerimientos agroecológicos del maíz	4
2.2.1. Temperatura.....	4
2.2.2. Precipitación.....	5
2.2.3. Altitud	5
2.2.4. Radiación solar	5
2.2.5. Suelos.....	6
2.3. Importancia del maíz forrajero	6
2.4. Producción de maíz forrajero en México.....	6
2.4.1. Producción en la zona de Valles Altos.....	7
2.5. Densidad de población.....	7
2.6. Características para la producción de forraje	8
2.6.1. Características de la cosecha	9
2.7. Métodos de conservación del forraje.....	9
2.7.1. Ensilaje.....	10
2.7.2. Henificado	13
2.8. Calidad del forraje	15

2.9.	Importancia del rastrojo	15
2.10.	Producción de rastrojos de maíz en México.....	16
2.11.	Contenido nutricional en rastrojo de maíz	17
2.12.	Materia seca	17
2.13.	Proteína cruda.....	18
2.14.	Digestibilidad	18
2.15.	Genotipos evaluados	19
2.15.1.	Tsíri Puma	19
2.15.2.	H 53 AE	19
2.15.3.	H 47 AE	20
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1.	Localización de la zona de estudio	21
3.2.	Datos agroclimáticos de la zona de estudio	21
3.2.1.	Clima de la FES Cuautitlán	21
3.2.2.	Clima de CEVAMEX-INIFAP.....	21
3.2.3.	Suelos	22
3.3.	Diseño experimental	22
3.4.	Material genético	22
3.5.	Variables evaluadas	23
3.5.1.	Rendimiento de forraje de materia verde (RMV)	23
3.5.2.	Rendimiento de forraje en materia seca (RMS).....	23
3.5.3.	Rendimiento de rastrojo en materia húmeda (RRH).....	23
3.5.4.	Rendimiento de rastrojo en materia seca (RRS).....	24
3.5.5.	Altura de planta	24
3.5.6.	Porcentaje de materia seca	24
3.5.7.	Porcentaje de mazorca	24
3.5.8.	Porcentaje de proteína	25
3.5.9.	Porcentaje de Digestibilidad.....	26
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
V.	CONCLUSIONES	35
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	36

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de maíz	3
Cuadro 2. Principales estados productores de maíz forrajero en México.	7
Cuadro 3. Producción de maíz forrajero en los estados de la zona de Valles Altos en México.	7
Cuadro 4. Fases de la fermentación del ensilado y su almacenamiento.....	10
Cuadro 5. Características químicas, organolépticas del ensilado y su calidad	12
Cuadro 6. Producción de grano y estimación de la producción de rastrojo de cuatro cultivos.	16
Cuadro 7. Estados productores de rastrojo de maíz en México.	17
Cuadro 8. Contenido de materia seca (MS), proteína (P), energía metabolizable (EM) y Fibra (F) en rastrojos provenientes de diferentes cultivos.	17
Cuadro 9. Distribución de los tratamientos de híbridos, destino de cosecha, densidad de planta por hectárea para evaluar la calidad en forraje y rastrojo de maíz.	22
Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística para diversas variables de rendimiento y calidad de forraje en tres híbridos de maíz para producción de forraje y rastrojo en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo Primavera-verano 2014.....	29
Cuadro 11. Comparación de medias en dos ambientes para tres híbridos de maíz para producción de forraje. Ciclo primavera – Verano 2014.....	30
Cuadro 12. Comparación de medias bajo dos densidades de población para tres híbridos de maíz para producción de forraje. Ciclo primavera – verano 2014.....	31
Cuadro 13. Comparación de medias de los diferentes híbridos de maíz para la producción de forraje y rastrojo en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo Primavera-verano 2014.	32
Cuadro 14. Cuadrados medios y significancia estadística para diversas variables de rendimiento y calidad de rastrojo en tres híbridos de maíz para producción de rastrojo en dos ambientes bajo dos densidades de población, ciclo Primavera-verano 2014.	33
Cuadro 15. Comparación de medias en dos ambientes para tres híbridos de maíz para la producción de rastrojo, ciclo primavera- verano 2014.....	34

RESUMEN

En diversas regiones de México el cultivo de maíz se utiliza de manera integral, ya que además de construir una fuente de alimentación para el hombre, también constituye un alimento para animales, ya sea en forma de grano, forraje o rastrojo, estos últimos se utilizan para asegurar la alimentación de los animales en la época de estiaje. Debido a lo anterior, es de gran importancia conocer la capacidad productiva de forraje y rastrojo de nuevos genotipos de maíz con la finalidad de que el productor elija los más adecuados para satisfacer los requerimientos nutricionales del ganado. En la presente investigación se evaluaron tres híbridos de maíz (Tsíri Puma, H 47 AE y H 53 AE) en dos localidades. La primera ubicada en el Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM y la segunda en el Campo experimental del Valle de México (CEVAMEX-INIFAP), las cuales se establecieron en dos densidades de población (70,000 y 95,000 plantas ha⁻¹). Se empleó el método de Tilley y Terry para la determinación de porcentaje de digestibilidad, y el método de Micro Kjendhal para la determinación de porcentaje de proteína. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con un arreglo factorial, considerando como factores híbridos, densidades de población y ambientes, así como sus interacciones con el objetivo de determinar la calidad de forraje y rastrojo de los tres híbridos de maíz. En los análisis de varianza se presentaron diferencias altamente significativas (P<0.01) para genotipos, densidades y ambientes y diferencias significativas (P<0.05) en las interacciones genotipos x ambiente, densidad x ambiente, bloque x ambiente y genotipos x densidad x ambiente. La prueba de comparación de medias en los dos ambientes evidenció que en CEVAMEX se obtuvieron mayores valores en rendimiento de materia verde, altura de planta y altura de mazorca, con respecto a la FES-Cuautitlán. En contraste FES Cuautitlán obtuvo valores superiores en rendimiento en materia seca, porcentaje de materia seca y digestibilidad. Los híbridos Tsíri Puma y H 53 AE fueron superiores (P<0.05) en las variables de rendimiento en materia verde y materia seca y porcentaje en materia seca, en comparación con el híbrido H 47 AE, en porcentajes de mazorca, proteína y digestibilidad no hubo diferencias estadística entre los materiales. La densidad de 95 000 plantas ha⁻¹ arrojó rendimientos mayores en las variables evaluadas con respecto a las densidad de 70 000 plantas ha⁻¹. Los híbridos que constituyen una alternativa para los productores en la zona de Valles altos de México son: Tsiri Puma y H 53 AE, que presentaron mayores rendimientos de materia verde y rastrojo.

Palabras Clave: calidad, forraje, rastrojo, *Zea mays* L., rendimiento, híbridos trilineal.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es por tradición un cultivo de suma importancia en México, tanto para la alimentación humana como para alimentación animal, en este último, se utiliza tanto como forraje verde, ensilado o como rastrojo (el cual tiene bajo valor nutritivo). La importancia de destinar el cultivo para producción de forraje se debe a su diversidad genética, adaptación a diversas regiones del país y por su rápido crecimiento, además presenta altos rendimientos de biomasa y alto valor nutritivo (González *et al.*, 2005).

En México, se siembran anualmente 7,128,340 hectáreas, de las cuales solo 632,619 fueron destinadas para producción de forraje. Dicha superficie solo representa 8.9 % del total (SIAP, 2017). EL maíz forrajero es un cultivo de gran importancia para la ganadería, su ensilado permite disponer de alimento durante la época crítica de escasez de forraje debido a su alto valor energético, lo que lo hace un componente importante de una ración alimenticia para el ganado, sobre todo el lechero (López, 2017). El valor nutritivo del ensilado depende del híbrido empleado, la densidad de plantación utilizada, condiciones de crecimiento, grado de madurez y humedad al momento de cosecha y de las condiciones de ensilaje (Satter y Reiss, 2012, Zaragoza *et. al*, 2019).

Los rastrojos o residuos de cosecha son subproductos derivados de las actividades agrícolas, y se les considera como la porción del cultivo cosechado (hojas, tallos, espigas y brácteas de la mazorca) que queda después de extraer el grano (SAGARPA, 2009, Shanahan *et al.*, 2010) y Fuentes *et al.* (2001) señalan que es común la utilización de rastrojo como alimento para rumiantes, no obstante, tiene bajo valor nutrimental, baja digestibilidad y alto contenido de fibra, debido a su estado de lignificación, aun cuando existen métodos para incrementar su eficiencia en la alimentación ganadera. Aunado a esto, se debe considerar la importancia de los rastrojos para revertir el problema de deterioro de los suelos. De ahí la necesidad de dejar una parte de los residuos de cosecha en el suelo como fuente de materia orgánica (MO) y seguir produciendo alimento para el ganado.

El interés por la utilización de rastrojos en la alimentación de ganado se sigue manteniendo por ser una fuente de energía en la dieta del ganado (Macedo, 2000 y Villegas *et al.*, 2001), son accesibles por su precio y disponibilidad en la época de estiaje (Fuentes *et al.*, 2001) y contribuyen al ingreso y empleo en el medio rural.

En Valles Altos de México, se utilizan gran cantidad de variedades de maíz para ensilar, sin embargo, estas se generaron para producir grano, por lo que con frecuencia no se conoce su capacidad productiva de forraje y rastrojo, así como su calidad. Es por ello que investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP) trabajan en conjunto para la generación y evaluación de nuevos híbridos de maíz, con el objetivo de determinar las mejores variedades y poder ofrecer a los productores una alternativa para aumentar los rendimientos y mejorar de sus ingresos económicos.

1.1. Objetivo

1.1.1. General

Determinar el rendimiento y calidad de forraje y rastrojo de los híbridos de maíz Tsíri Puma, H 47 AE y H 53 AE, bajo dos densidades de población.

1.1.2. Específico

Definir cuál de los híbridos en evaluación representa una alternativa de uso forrajero para los productores de Valles Altos de México.

1.2. Hipótesis

Los híbridos de maíz evaluados presentaran diferencias en el rendimiento, entre ambientes, entre densidades, y valor nutricional en forraje y rastrojo.

Al menos uno de los genotipos evaluados presentará altos rendimientos en materia seca y elevados porcentajes de proteína y digestibilidad para la producción de forraje y rastrojo

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción botánica del maíz

2.1.1. Clasificación

De acuerdo con Acosta (2009), la clasificación taxonómica del maíz (Cuadro 1) es la siguiente:

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de maíz.

Reino	Plantae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Maydeae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays</i> L.

Fuente: Acosta, 2009.

2.1.2. Tallo

El tallo es simple erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los cuatro metros de altura, es robusto y sin ramificaciones (CONACYT, 2014). Cumple la función de soporte de hojas, flores, frutos y semillas, transporta sales minerales y agua desde la raíz hasta la parte aérea de la planta, así como alimentos elaborados.

2.1.3. Hojas

La planta de maíz posee entre 15 y 30 hojas que crecen en la parte superior de los nudos, abrazando el tallo mediante estructuras llamadas vainas. La cara superior de la hoja es pilosa, adaptada para la absorción de energía solar, mientras que la cara inferior, glabra, tiene numerosos estomas que permiten el proceso respiratorio. En la superficie foliar, justo en la unión del limbo con la vaina, existe una proyección delgada y semitransparente que envuelve el tallo llamada lígula, su función es restringir la entrada de agua y reducir las pérdidas por evaporación (Ospina, 2015).

2.1.4. Flores

Es una planta monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espiga o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula se presentan

tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral (CONACYT, 2014).

2.1.5. Grano

El grano de maíz es el fruto de la planta, compuesto por una cariósida que consta de tres partes principales: la pared, un endospermo triploide y un embrión diploide. La cubierta o capa de la semilla, que es la pared del ovario, se llama pericarpio, es dura y debajo de ella se encuentra la capa de aleurona, que le da el color al grano (blanco, amarillo, morado) y contiene proteínas (Ospina, 2015).

2.1.6. Sistema radical

El sistema radical de la planta de maíz presenta tres tipos de raíces: las raíces primarias o seminales son emitidas por la semilla, suministran el anclaje y los nutrientes a la plántula; se reconocen inicialmente por mostrar un grupo de una a cuatro raíces. Las raíces adventicias se originan de los nudos que se encuentran debajo de la superficie del suelo y pueden alcanzar hasta 2 m de profundidad; éstas constituyen casi la totalidad del sistema radicular. Por su parte, las raíces de sostén o soporte surgen de los nudos cerca de la superficie del suelo, son las que proporcionan estabilidad a la planta y disminuyen problemas de acame; éstas raíces tienen la capacidad de realizar fotosíntesis y de absorber fácilmente el fósforo (Ospina, 2015).

2.2. Requerimientos agroecológicos del maíz

2.2.1. Temperatura

El cultivo de maíz expresa su potencial de rendimiento en ambientes templados y subtropicales con altas temperaturas diurnas y noches frescas. Tanto la fotosíntesis como el desarrollo del maíz alcanzan su valor máximo de 30 a 33°C y disminuyen a 10°C (Ruiz, *et al.*, 2013).

Las áreas de mayor producción de maíz se ubican donde las isothermas de los meses más cálidos varían de los 21 a los 27 °C y un periodo libre de heladas de 120 a 180 días. Para genotipos adaptados a las regiones templadas o Valles Altos, la temperatura base es de alrededor de 7°C y la temperatura umbral máxima es de 27°C (Ruiz, *et al.*, 2013)

Respecto a las bajas temperaturas, una exposición prolongada al frío paraliza actividades enzimáticas e induce un descenso en la fluidez de las membranas celulares, con lo que el transporte

de agua y nutrientes a través de las mismas se puede ver afectado y la planta deja de producir. Si el descenso de la temperatura es intenso y repentino, la planta se puede congelar, con la consecuente formación de cristales de hielo dentro de la célula, la cual sufrirá deshidratación. En consecuencia, los efectos de las bajas temperaturas se manifiestan tanto sobre las funciones enzimáticas como sobre las propiedades de las membranas y se ponen en evidencia por la reducción de la fotosíntesis, del crecimiento, de la extensión de las hojas y de la absorción de agua y nutrientes (Ospina, 2015).

2.2.2. Precipitación

El agua constituye entre 80% y 95% del componente celular de los tejidos en crecimiento; sirve de solvente, medio de transporte, generadora de turgencia y reguladora de la temperatura por transpiración; además es necesaria para los procesos fisiológicos que ocurren desde la siembra hasta la madurez fisiológica de la planta; durante éste periodo el cultivo de maíz requiere entre 400 y 650 mm de agua, bien repartidos (Ospina, 2015).

Los mayores requerimientos de agua se presentan durante la germinación, la floración y el llenado de granos, con valores medios que van de 4,8 a 5,4 mm/día. El mayor consumo de agua de la planta de maíz se presenta en la etapa de la floración, en donde el déficit por uno a dos días puede reducir los rendimientos en 22%, mientras que, si la sequía se presenta por seis a ocho días durante este periodo, la reducción del rendimiento es de 50 %. El maíz no tolera encharcamientos por más de 12 horas, pues el exceso de agua aumenta la senescencia foliar; disminuye el área foliar, la producción de materia seca y las etapas reproductivas y por lo tanto, se reduce el rendimiento (Ospina, 2015).

2.2.3. Altitud

El maíz es un cultivo que se adapta muy bien a altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm. (Bonilla, 2009 y Fernández, 2017).

2.2.4. Radiación solar

Requiere una intensidad de luz que varía entre los 32.3 a los 86.1 lux y la máxima eficiencia de la planta en el uso de la radiación se asume en 1.6 gMj^{-1} (Ruiz *et al*, 2013)

2.2.5. Suelos

El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos, con rangos de pH entre 5.5 y 7.8, siendo 6.0 y 7.0 los óptimos. Requiere suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación de drenaje para no producir encharques que originen asfixia radical (CONACYT, 2014).

Suelos con pie de arado, poco profundos, con escaso espacio poroso o con ambientes químicos indeseables (exceso de carbonato de calcio, de acidez, exceso o déficit de nutrientes esenciales), limitan el crecimiento de las raíces y su capacidad de exploración (Ospina, 2015).

2.3. Importancia del maíz forrajero

El maíz es un cultivo adaptado a una gran diversidad de ambientes; es una especie C4, se caracteriza por tener una alta producción de materia seca, excelentes características de palatabilidad, que lo hace atractivo como forraje.

Forraje es aquel material del origen vegetal, generalmente la parte aérea de la planta, destinado al consumo de herbívoros que contiene más del 18% de fibra cruda en la materia seca (Mc Dowell *et al.*, 1974).

Los forrajes son los tallos, hojas, inflorescencias u otras estructuras de los vegetales (como la cascarilla y los olotes) susceptibles de ser consumidos por los animales, presentan bajo contenido de proteína, energía, vitaminas y minerales (Lucas, 1999).

En México es determinante el papel que juegan los forrajes en la actividad ganadera, ya que casi toda la totalidad de leche y cerca de la mitad de la producción de carne se obtienen a partir de este recurso; esto se debe a su relativo bajo costo, disponibilidad y facilidad de obtención, en contraste con otras fuentes alimenticias.

2.4. Producción de maíz forrajero en México

En 2017, la superficie sembrada de maíz forrajero en México fue de 632, 619 hectáreas con una producción de 16, 697,327 toneladas de acuerdo con los datos reportados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017). El 75% de la producción de este cultivo se centra en 5 estados; Jalisco, Zacatecas, Durango, Aguascalientes y Estado de México (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales estados productores de maíz forrajero en México.

Estado	Superficie (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Jalisco	233,312	5,384,381	23.08
Zacatecas	113,178	2,168,579	19.16
Durango	68,700	2,402,521	34.97
Aguascalientes	58,440	1,314,986	22.50
Estado de México	22,938	1,243,334	54.20
Otros	136,051	4,183,526	
Total	632,619	16,697,327	

Fuente: SIAP, 2017.

2.4.1. Producción en la zona de Valles Altos

Valles Altos concentra un aproximado del 17% de la producción Nacional de maíz forrajero, con una superficie sembrada de 56,590 hectáreas y una producción de 2, 795,660 toneladas. El estado que cuenta con la mayor superficie sembrada y producción en esta zona es el Estado de México con 22, 938 hectáreas y 1, 243,334 toneladas, seguido de Querétaro, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo, los valores se muestran a continuación (Cuadro 3) (SIAP, 2017).

Cuadro 3. Producción de maíz forrajero en los estados de la zona de Valles Altos en México.

Estado	Superficie sembrada (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Estado de México	22,938	1,243,334	54.20
Querétaro	11,337	784,600	69.21
Puebla	8,760	332,695	37.98
Tlaxcala	7,644	287,877	37.66
Hidalgo	5,911	147,154	24.90
Total	56,590	2,795,660	

Fuente: SIAP, 2017

2.5. Densidad de población

Los incrementos en las densidades de población a menudo resultan en un aumento en el rendimiento de forraje, esto depende del tipo de híbrido que se utilice, clima de la región, área de la hoja, tamaño y madurez de la planta. La calidad también se puede ver afectada debido a que el aumento de la densidad de plantas ha resultado en una reducción en el contenido proteico y digestibilidad del forraje (Cox y Cherney, 2001).

En estudios realizados por Stanton *et al* (2007), reportaron los efectos que tiene el aumentar la densidad de población con respecto al rendimiento y la calidad del maíz. Se evaluaron diversos híbridos comerciales con cuatro densidades: 49 000, 74 000, 99 000 y 124 000 plantas ha⁻¹ y se

observaron disminuciones en el contenido de proteína y porcentaje de digestibilidad, con forme se aumentó la densidad de población. Los resultados fueron: proteína con valores de 7.0, 6.8, 6.8 y 6.6 %, respectivamente, y digestibilidad con valores de 72.6, 72.3, 71.9 y 71.5%. Sin embargo, el rendimiento en materia seca incrementó 2.0 ton ha⁻¹ al aumentar de 49 000 a 124 000 plantas por hectárea. Por su parte Widdicombe y Thelen (2002), registraron incrementos en la producción de materia seca de 1.6 t ha⁻¹ al aumentar la densidad de 64 000 a 88 900 plantas ha⁻¹.

Se deben seleccionar genotipos tomando en cuenta que el ciclo sea el más apropiado para la zona. Si el genotipo es de ciclo corto, el rendimiento total de materia seca de maíz se verá reducido, pero ofrece una mejor relación grano/ tallo, un alto contenido de nutrientes (proteínas) y mayor digestibilidad. Por el contrario, si el genotipo es de ciclo largo, se pueden obtener mayores rendimientos de materia seca, aunque la proporción de grano en la materia seca es menor. El valor nutritivo del material a ensilar mejora a medida que aumenta el contenido de grano, hasta que este presenta 30% de la materia seca total (Romeo y Arona, 2004)

2.6. Características para la producción de forraje

Las plantas forrajeras se cultivan para aprovechar sus hojas y tallos, por tal motivo el momento de la cosecha del cultivo debe coincidir con la floración, ya que es la etapa en donde se alcanza el máximo contenido de nutrientes (Manera, 1998). En el caso del maíz, la planta completa constituye un forraje muy importante que se destina para la producción carne o de leche. La demanda actual de estos dos productos requiere una respuesta animal óptima, lo que resulta un desafío a los productores de maíz, que deben seleccionar y manejar híbridos de gran producción de materia seca con características de calidad apropiadas (López, 2014).

Los híbridos de maíz para forraje, representan una alta variabilidad genética en el rendimiento y calidad del forraje. En algunos híbridos, el mayor rendimiento de materia seca está relacionado con plantas de porte más alto y ciclo tardío, en contraste la calidad del forraje está relacionada con materiales precoces y con alto porcentaje en mazorca. Dado a que el rendimiento y calidad de forraje de maíz tienen un efecto directo en el potencial de producción de leche y carne, estos factores deben tomarse en cuenta para la selección de híbridos para la producción del forraje (Fernández, 2017).

2.6.1. Características de la cosecha

El maíz se debe cosechar después de la formación de la espiga, cuando el grano se encuentra en un estado masoso-lechoso. En esta etapa la planta presenta su máxima concentración de carbohidratos solubles y un porcentaje de materia seca de 30 a 35%. Punto que coincide cuando el grano se encuentra en la 1/3 de la línea de leche (Améndola, 2016). Un porcentaje de materia seca mayor a 35% disminuye la estabilidad aeróbica del ensilaje una vez que este se abre, y además, como el grano se encuentra en un estado mayor de madurez tiende a perderse durante las evaluaciones del intestino (hasta un 3%) debido que el almidón de granos duros no es digerido en el rumen (Klein, 1994). El nivel de carbohidratos solubles (azúcares solubles) tiene estrecha relación al momento de cosecha de la planta. Duthil (1980) señaló que la producción de fermentos lácticos y la acidificación resultante están ligadas al contenido de azúcares fermentables. Para gramíneas, se ha establecido un nivel mínimo de 12% de carbohidratos solubles en la materia seca para que se lleve a cabo el proceso de fermentación, nivel por lo general alcanzado por las plantas forrajeras al inicio de la floración.

Es de suma importancia tomar en cuenta el porcentaje de humedad y la cantidad de materia seca al momento de ensilar el forraje. Améndola (2016) menciona que: si el forraje está muy húmedo se corren riesgos de una mala evolución del proceso de fermentación, incluyendo la posibilidad de putrefacción con pérdida total; con alta humedad aumentan las pérdidas por efluentes que contienen los mejores nutrientes del forraje, y se reduce el consumo que hacen los animales de ese ensilado. En contraparte, si el forraje está demasiado seco, se dificulta la compactación y por ende aumentan los riesgos de pérdidas entre otras causas por ataques de hongos.

Johnson *et al.*, (1999), indicó que un porcentaje de cosecha mayor al 70% de humedad, podría reducir el rendimiento del silo y permitir además la formación de Clostridios (*Clostridium* spp.). Subedi *et al.*, (2006), menciona que si la cosecha se realiza con un contenido de humedad menor al 60% , se podría producir un silo de baja calidad, debido a la inadecuada exclusión del aire, pobre fermentación y calor, todo esto conduce a pérdidas grande de materia seca, putrefacción y reducción del periodo de vida del silo.

2.7. Métodos de conservación del forraje

La conservación de forrajes se realiza cuando se tienen excedentes de producción, entonces se almacena para tener alimento en época de estiaje. Existen diversos métodos para la conservación de forraje de los cuales destacan dos: el ensilaje y henificado. El primero consiste en la

fermentación del forraje por bacterias ácido lácticas (BAL) en condiciones anaeróbicas y el segundo se basa en la deshidratación del forraje.

2.7.1. Ensilaje

Es un método de conservación con alto contenido de humedad (60-70%) mediante la compactación, expulsión del aire y producción de un medio anaeróbico que permite el desarrollo de bacterias que acidifican el forraje. Es un proceso donde se llevan a cabo la fermentación anaeróbica de carbohidratos solubles presentes en forrajes para producir ácido láctico, acético y propiónico, lo que permite almacenar alimento en tiempos de cosecha conservando la calidad y la palatabilidad, lo cual posibilita aumentar la carga animal por hectárea y sustituir o complementar concentrados (Garcés *et al.*, 2004).

Schroeder (2004) indica que para obtener un ensilado de calidad el principal ácido que se produzca en la fermentación debe ser el ácido láctico, debido a que es el ácido de fermentación más eficiente, que provocará la más rápida caída del pH en el ensilado. Cuanto más rápido se complete el proceso de fermentación, se conservará una mayor cantidad de nutrientes en el ensilado. A continuación, en el Cuadro 4 se describen las fases que se presentan en el ensilaje.

Cuadro 4. Fases de la fermentación del ensilado y su almacenamiento.

Tiempo del ensilaje	FASE I 0-2	FASE II 2-3	FASE III 3-4	FASE IV 4-21	FASE V >21	FASE VI
Actividad	Respiración Producción de CO ₂ calor y agua.	Producción de ácido acético y láctico, y etanol.	Formación de ácido láctico	Formación de ácido láctico	Almacenamiento	Alimentación Deterioro aeróbico por exposición al aire
Cambio de temperatura	16 a 33°C (o mayor)	33° a 29°	29°	29°	29°	29 o mayor
Cambio de pH	6.5-6.0	6.0-5.0	5.0-4.0	4.0	4.0	4.0-7.0
Organismos		Bacterias ácido-lácticas y ácido acéticas	Bacterias ácido-lácticas	Bacterias ácido-lácticas		Mohos y levaduras

Fuente: Schroeder, 2014.

Los procesos de fermentación del ensilado comienzan de inmediato de su almacenamiento y la culminación de las reacciones bioquímicas terminan aproximadamente a los 21 días, posterior a este tiempo y si el silo aún permanece en condiciones de ausencia de oxígeno, el forraje puede conservarse y ser apto para el consumo del animal indefinidamente.

2.7.1.1. Proceso de ensilaje

- 1) Llenado del silo: la buena conservación de un ensilado depende en gran parte de la rapidez de llenado del silo, siendo conveniente su realización en un solo día, cuando el tamaño del silo supera la capacidad de llenado diario (no siendo aconsejable superar las 72 horas), en este caso será necesario colocar sobre la parte ya ensilada una cubierta que la proteja durante la noche. En todo caso debe existir una buena coordinación entre los equipos de recolección, transporte y los de llenado y apisonado, con el fin de reducir al mínimo el tiempo de realización del silo. (Cañete y Sancha, 1998).
- 2) Compactación o apisonado: Tiene como finalidad expulsar la máxima cantidad de aire del ensilado e impedir que el aire exterior penetre en el mismo. Esta práctica es la más importante y delicada y es la causa más frecuente del fracaso en la elaboración del ensilado. El apisonado puede ser intenso cuanto el material esté más seco y las partículas sean de mayor tamaño, y menos intenso o no realizarlo cuando el contenido en agua del material es elevado y haya sido finamente picado, ya que se comprime de forma natural, y ello puede dar lugar a pérdidas elevadas de nutrientes por el escurrido de jugos (Cañete y Sancha, 1998). Trozos de 2 a 4 cm, permite apisonar correctamente el material, lo que favorece la fermentación posterior (Zaragoza, 2016)
- 3) Cierre del silo: El cierre del silo se debe realizar inmediatamente finalizado su llenado mediante una cubierta, generalmente un plástico resistente. El objetivo de esta operación es asegurar la estanqueidad de la parte superior tanto al agua como al aire, para reducir la incidencia de las fermentaciones aeróbicas desfavorables (Cañete y Sancha, 1998).
- 4) Aditivos: El empleo de aditivos en el proceso de ensilados persigue 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. A pesar de ello, los aditivos aun siendo muy eficientes no solucionan fallas del ensilaje como corte tardío o un pobre sellado.

2.7.1.2. Tipos de aditivos para ensilaje

Argamentería *et al.* (1997), mencionan que los aditivos pueden ser químicos o biológicos y los clasifica de la siguiente manera:

- Conservantes: Acido fórmico, acético, láctico, propiónico, benzoico, caprónico. Inhiben las fermentaciones indeseables actuando de diversas maneras, unos comunican a la masa del forraje una acidez inicial que favorece la actividad de las bacterias lácticas.
- Inoculantes: bacterias del ácido láctico: *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*. Tienen como papel principal elevar rápidamente el nivel de acidez del forraje a ensilar.
- Enzimas: amilasas, celulasas, hemicelulasas, pectinasas. Se encargan de la ruptura de las paredes celulares aumenta el contenido de azúcares solubles, fermentados por bacterias lácticas, produciéndose la bajada de pH.
- Sustratos: Melazas, glucosa, sacarosa, granos de cereales, pulpa de remolacha, pulpa de cítricos.
- Nutrientes o Activadores: Amonio, urea, carbonato cálcico.

2.7.1.3. Calidad del ensilado

Un ensilado que haya tenido un correcto proceso de ensilaje y almacenamiento y que además contenga adecuados niveles de grano y materia seca, ayudará a la mayor producción animal (Fedegán, 2017). En el Cuadro 5 se describen las características químicas y organolépticas que debe tener el ensilado.

Cuadro 5. Características químicas, organolépticas del ensilado y su calidad.

Calidad	Características Químicas				Características Organolépticas		
	MS (%)	Proteína cruda	Almidones	pH	Olor	presencia de grano (Inspección visual)	Color
1	30-40	6.5-9	>24	<4.0	Láctico	Abundante	Verde-paja
2	29-30	6.5-9	22-24	4.0-4.6	Láctico	Normal	Verde-paja
3	25-28	6.5-9	18-21	4.7-5.3	Acético	Baja	pardo
4	20-24	6.5-9	15-17	5.4-6.0	Butírico	Casi ausente	pardo
5	<20	6.5-9	<15	>6.0	Putrefacto	ausente	negro

Fuente: Fedegán, 2017

En los últimos años se ha encontrado, en diversas investigaciones que, mediante la selección adecuada de los genotipos de maíz forrajero para ensilado, se pueden obtener los materiales más sobresalientes en rendimiento de materia seca y principalmente de mayor calidad, ya que existen diferencias entre híbridos de maíz en cuanto a sus contenidos de proteína cruda, fibra y digestibilidad de la materia seca (Reyes y Reyes, 2000, Zaragoza *et al.*, 2019)

2.7.1.4. Ventajas del ensilaje

De acuerdo con Zaragoza (2016), las ventajas que se tienen al ensilar son:

- Conservación de gran cantidad de principios nutritivos de los forrajes
- El forraje es cosechado cuando se tienen mayor valor nutritivo
- Tiene mayor calidad que el heno
- Almacenamiento con pocas pérdidas de nutrimentos
- El forraje verde se puede ensilar bajo condiciones de lluvia
- La leche de las vacas alimentadas con ensilado es más rica en vitamina A y caroteno
- En este proceso se elimina el riesgo de incendios por ignición espontánea
- El ensilado se digiere mejor, debido a su alto contenido de humedad (70%), lo que favorece la masticación y la rumia.

2.7.2. Henificado

Es el método de conservación más antiguo y se obtiene de la deshidratación en campo de un forraje verde, en el que se reduce el contenido de humedad hasta un 15%. Se obtiene cortando la planta, luego se deja expuesto al sol para el secado de 3 a 5 días para almacenarlo. Es posible utilizar especies de gramíneas o leguminosas, observando el estado de desarrollo del forraje (FAO, 2011).

2.7.2.1. Calidad del Heno

Zaragoza (2016), menciona que la calidad del heno depende de los siguientes factores:

- Estado de crecimiento y madurez de la planta al momento del corte: en leguminosas, cuando existe un 10-15% de plantas en flor. En gramíneas cuando el grano está en estado lechoso.
- Época de cosecha: se ve determinado por el ciclo del cultivo y las etapas de crecimiento de la especie que se va a henificar. El corte se debe realizar cuando se tenga seguridad de ausencia de lluvias durante tres a cinco días posteriores al corte, si durante el periodo de secado ocurre alguna lluvia mermará el valor nutritivo del forraje.

- Método de cosecha: en general todos los métodos de cosecha de forraje implican pérdidas y reducción en la calidad del heno, la forma de realizar el corte es importante dependiendo el tipo de maquinaria.
 - a) Guadaña mecánica o de barra: actúa como tijera, realiza un corte limpio que favorece el rebrote de las plantas.
 - b) Segadora circular o de cuchillas giratorias: corta por impacto, produce mayores daños y peor rebrote.
 - c) Hileradora-segadora-acondicionadora: esta máquina corta el forraje, lo acondiciona al quebrar los tallos de las plantas y permitir un secado uniforme, ya que los tallos se secan en el mismo tiempo que las hojas debido a este acondicionamiento. Además, hilera el forraje y puede llegar a reducir el tiempo de secado hasta en un 20%.
- Secado: el secado o curación de la hierba tiene como objeto fundamental reducir el contenido de agua a menos del 20% con la menor pérdida posible de hojas. Las rapidezces del secado dependen del tipo de planta, climatología, cantidad y disposición de la planta cortada. En general las leguminosas tardan más tiempo en secarse que las gramíneas. Este tiempo se puede reducir si el cortado se acompaña de acondicionadores de rodillo, que quiebran el tallo, y producen una mayor velocidad de pérdida de agua. Es recomendable voltear el forraje mínimo una vez por día, para acelerar su secado. El tiempo promedio de secado en gramíneas en clima templado es varía de 4 a 5 días posteriores al corte.
- Empacado: las pacas deben ser lo más compactas posibles para garantizar su conservación y manejo. El tamaño suele ser de 90 x 40 x 35 cm y pesan de 25-30 kg, si se hacen de heno bien seco. Cuando el forraje está húmedo (más del 20%) las pacas deberán estar sueltas, ya que una mayor densidad incrementa el peligro de combustión instantánea y la aparición de hongos. Si el heno presenta alto porcentaje de humedad, proliferan bacterias y hongos (actinomicetos). Se puede elevar la temperatura por arriba de los 71°C para que las bacterias mueran y por encima de los 93°C los hongos actinomicetos son inactivos. Un tiempo prolongado de calor ocasiona que se utilicen los azúcares del heno y se reduce la digestibilidad de la proteína. El heno dañado presenta una coloración café, a mayor intensidad de coloración café el daño causado por el calor es mayor. Las reacciones químicas ocasionadas por la elevada temperatura provocan que los aminoácidos y azúcares sean indigestibles. Es conveniente realizar el empacado temprano

por la mañana o en la tarde, ya que el forraje presentará una textura blanda y permitirá un mejor manejo, reduciendo las pérdidas de hojas y partes tiernas.

2.7.2.2. Ventajas de la henificación

- Facilidad para transportar el heno de un lugar a otro, lo que permite su amplia comercialización.
- Conservación de forraje para utilizarlo en épocas de escasez.

2.7.2.3. Desventajas de la henificación

- Dependencia de las condiciones climáticas (sol y aire)
- Altas pérdidas de nutrientes que pueden ocurrir durante el secado y por el movimiento del forraje antes de que sea consumido.

2.8. Calidad del forraje

La calidad nutricional del forraje influye notablemente en la producción animal: a medida que la calidad disminuye, también se verá disminuida la digestibilidad y el nivel de consumo por parte del animal, y, por consiguiente, la producción (Ramírez *et al.*, 1999).

La calidad del forraje se mide por medio de sus componentes: contenido de proteína, grasa, carbohidratos (contenidos de fibra cruda (FC), fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN)), digestibilidad y cenizas. Todo esto en su conjunto se le denomina materia seca que en un sentido estricto es lo que queda del forraje una vez extraída toda la humedad. Entre mayor sea la calidad del forraje mayor será la ganancia en peso y leche por unidad de forraje suministrado al ganado. De aquí viene la importancia de evaluar el forraje para conocer sus propiedades y así elegir uno sobre otro, a la hora de utilizarlo para alimentar al ganado (Fernández, 2017).

2.9. Importancia del rastrojo

La mayor producción de rastrojos se obtiene de los cereales y está asociada directamente con la producción de grano, por lo que a medida que aumenta la cantidad producida de granos para satisfacer la demanda alimenticia de la población, se incrementa la disponibilidad de estos residuos.

Se estima que por cada kilogramo de grano producido se obtiene un kg de residuo (Mecedo, 2000 y Muñoz, 20011). El rendimiento de rastrojo en la producción agrícola, depende de diversos factores, como son: tipo de suelo, clima, manejo agronómico, disponibilidad de agua y variedades sembradas (Luna, 2010; Ramírez y Volke, 1999).

Diversos autores mencionan que los rastrojos tienen dos usos fundamentales: constituyen un insumo para la alimentación de rumiantes, ya sea en pastoreo directo o bien, cortado, picado y empacado, suministrado como suplemento en la dieta de los animales (Correa, 2008) y son la principal fuente de cobertura del suelo en la agricultura en laderas y es una de las tecnologías más efectivas para regular la humedad y temperatura del mismo, amortiguar la erosión hídrica, controlar la maleza y aportar materia orgánica y nutrientes al suelo (Eyhorn *et al.*, 2002).

En una unidad de producción, el rastrojo puede llegar a ser tanto o más importante que el grano (Muñoz, 2005), debido a que sustenta (en diferente proporción) la manutención del ganado, al cual se recurre en tiempos difíciles para amortiguar los desbalances económicos. A pesar de su relevancia, en muchas ocasiones el rastrojo producido por el agricultor es insuficiente, por lo que no se cubren totalmente las necesidades de consumo de los rumiantes durante la época de estiaje (principalmente durante la parte final del otoño, el invierno y mediados de primavera) (Viveros, 2010).

2.10. Producción de rastrojos de maíz en México

En México se producen aproximadamente 37.5 millones de toneladas de esquilmos agrícolas obtenidas de cuatro cultivos, de los cuales el 68% corresponde a rastrojo de maíz, 19 % a esquilmos de sorgo, 11% de paja de trigo y 2% paja de cebada (Cuadro 6) (SIACON-SIAP, 2011).

Cuadro 6. Producción de grano y estimación de la producción de rastrojo de cuatro cultivos.

Cultivo	Producción (toneladas)	
	Grano	Rastrojo
Maíz	21,372,598	25,089,571
Sorgo	6,517,668	7,349,711
Trigo	3,908,481	4,407,436
Cebada	614,961	693,467

Fuente: SIACON-SIAP, 2011.

Los estados con mayor volumen de producción de rastrojo de maíz son: Sinaloa (21.9%), Jalisco (13.6%), Chiapas (6.8%), Michoacán (6.7%), Estado de México (6.3%), Guerrero (6.2%), Guanajuato (5.3%) y Veracruz (5.2%). Estos ocho estados aportaron el 72% de la producción nacional de grano de maíz (Cuadro 7) (SIACON-SIAP, 2011).

Cuadro 7. Estados productores de rastrojo de maíz en México.

Estado	Producción (toneladas)
Sinaloa	5,506,425
Jalisco	3,422,667
Chiapas	1,700,023
Michoacán	1,674,065
Estado de México	1,589,755
Guerrero	1,544,261
Guanajuato	1,333,711
Veracruz	1,315,523

Fuente: SIACON-SIAP, 2011.

2.11. Contenido nutricional en rastrojo de maíz

Los rastrojos de maíz, en general, contienen más de 30% de fibra, su proteína total es inferior al 7% y su digestibilidad es menor a 55%. Estos datos indican que el contenido de nutrimentos es muy bajo, en comparación con rastrojos de hojas de plátano, pajas de chícharo, garbanzo y haba, los cuales superan el 7% de proteína y la energía metabolizable aunque es baja, supera la del rastrojo de maíz que es menor a 2 Mcal kg⁻¹ de MS; o bien, si se expresa como nutrimentos digeribles totales, es inferior al 60% (Cuadro 8) (Castañeda y Monroy, 1984).

Cuadro 8. Contenido de materia seca (MS), proteína (P), energía metabolizable (EM) y Fibra (F) en rastrojos provenientes de diferentes cultivos.

Residuos de cultivo	MS (%)	P (%)	EM (Mcal kg ⁻¹)	F (%)
Paja de haba	98.0	7.1	1.70	39.0
Paja de garbanzo	89.0	7.1	1.70	39.0
Paja de chícharo	87.3	7.9	1.61	39.5
Hojas de plátano	20.9	9.8	2.00	25.9
Rastrojo de maíz	91.8	5.9	1.58	39.5

Fuente: Castañeda y Monroy, 1984.

2.12. Materia seca

La determinación de la materia seca de los forrajes es esencial para la formulación de raciones y dietas para el ganado, ya que el agua diluye el valor nutritivo por cantidad de peso y aumenta el costo de los nutrientes. Los alimentos contienen agua en diversas formas. Las partículas coloidales en las paredes y constituyentes celulares, tales como proteínas, almidones y celulosa, pueden absorber agua y retener agua fuertemente. Otras veces, se encuentra como agua de hidratación en combinación con carbohidratos, polisacáridos y diversas sales (De la Roza *et al.*, 2002).

2.13. Proteína cruda

Las proteínas son sustancias complejas de naturaleza coloidal y de alto peso molecular. Están constituidas por carbono, hidrogeno, oxígeno y azufre, además de un porcentaje de nitrógeno (16%). Las proteínas son el principal constituyente de los órganos y estructuras blandas del cuerpo animal.

Una de las funciones metabólicas de las proteínas son la reparación y formación de tejidos, así como la producción de secreciones orgánicas tales como enzimas, hormonas, leche etc., para esto el organismo requiere que se le proporcione el material necesario para la producción de los aminoácidos que son las unidades de construcción. Las necesidades variaran dependiendo de la talla y madurez del animal (Ávila, 1986). Una ligera deficiencia de proteína afecta los procesos fisiológicos del animal, tales como reproducción, crecimiento, engorda y lactancia (Gutiérrez, 1991).

La proteína cruda es la combinación de las proteínas verdaderas y el nitrógeno no proteico. Las proteínas verdaderas es una cadena de aminoácidos sintetizados por la planta a partir del nitrógeno atmosférico o mineral del suelo. El nitrógeno no proteico, se compone de nitratos, nitritos, amidas y aminos, es totalmente soluble y fermentable en el rumen, y la principal fuente de nitrógeno para los microorganismos ruminales. La urea es un ejemplo de fuente de nitrógeno no proteico disponible (Ávila, 1986; Morales, 2003).

El valor nutritivo de un alimento se relaciona directamente con su contenido de proteína, la cual tiene un papel determinante en la nutrición de los rumiantes. Ramírez *et al.*(1994), determinaron que una planta forrajera que contenga 7% de proteína cruda puede ser considerada adecuada para la alimentación de rumiantes ya que a través de su consumo y degradación favorece el incremento de la flora microbiana del rumen y por lo tanto es apta para su consumo.

2.14. Digestibilidad

Cuando un rumiante ingiere un alimento, una parte de la materia ingerida pasa a través del tracto digestivo y se elimina en las heces. Las heces, además contienen bacterias y productos endógenos del metabolismo. La digestibilidad aparente de un alimento puede ser considerada el balance entre el alimento menos las heces, pero la digestibilidad verdadera es el balance entre el alimento y el residuo del alimento que está en las heces, excluyendo los productos endógenos metabólicos.

Existen varias maneras de estimar la digestibilidad de un forraje. La determinación *in vivo* implica manipular animales, requiere mano de obra y se pueden evaluar pocos alimentos (INTA, 2014).

Los procedimientos *in vitro* simulan la fermentación anaeróbica, en la que el sustrato es incubado con saliva artificial y fluido ruminal. Uno de los más utilizados para predecir la digestibilidad *in vivo* es el de Tilley y Terry. Involucra 48 horas de incubación con saliva y microorganismos del rumen, seguido de 48 horas de digestión con pepsina, simulando la digestión que sucede en el animal (INTA, 2014).

Es importante conocer la digestibilidad de un alimento para establecer si cubre los requerimientos alimenticios del animal. Un alimento con alto porcentaje de digestibilidad (60% o más) podrá cubrirlos, lo contrario sucede con alimentos de baja calidad que permanecen mayor tiempo en el rumen disminuyendo la tasa de pesaje del alimento, que es el tiempo que tarda un alimento en pasar a través del tracto digestivo, provocando así un menor consumo (Horrocks y Vallentine, 1999).

Núñez *et al.* (2002), en sus investigaciones reportaron digestibilidades de 63 y 67% con maíces de ciclo corto y 67 y 73% de digestibilidad en maíces de ciclo intermedio. Peña *et al.*, (2002) en estudios realizados registraron digestibilidades que variaron de 69 a 72% en poblaciones de maíz forrajero. Sánchez *et al* (2018), midieron el potencial de nueve híbridos de maíz, obteniendo digestibilidades de 60.6 y 65.6 %. Fuentes *et al.* (2001), en un trabajo para determinar digestibilidad *in vitro* de rastrojo de maíz obtuvieron digestibilidades de 65, 66,7y 72 %.

2.15. Genotipos evaluados

2.15.1. Tsíri Puma

Híbrido de ciclo intermedio, aunque en altitudes de 2250 metros sobre el nivel del mar es ligeramente más tardío. Llega a su madurez fisiológica a los 161-164 días. Se puede cortar a los 175 días. Tiene un rendimiento comercial de 9.5 a 12.5 ton ha⁻¹, con un rendimiento de 8.5 t ha⁻¹ bajo condiciones de riego, humedad residual o buen temporal. Su grano es semidentado de color blanco inscrito con un número de registro: MAZ-1571-290514 ante el CNVV (Tadeo *et al.*, 2016).

2.15.2. H 53 AE

Híbrido de ciclo intermedio, llega a su madurez fisiológica a los 161-164 días. Se puede cortar a los 175 días. Tiene un rendimiento comercial de 8.9 a 9.9 t ha⁻¹ con un rendimiento de 12.7 t ha⁻¹

bajo condiciones de riego, humedad residual o buen temporal. Su grano es dentado de color blanco. Tiene un registro provisional de 3152-MAZ-1657-300615/C ante el CNVV (Espinosa *et al.*, 2010).

2.15.3. H 47 AE

Híbrido de ciclo intermedio, llega a su madurez fisiológica a los 150-156 días. Se puede cortar a los 172 días. Tiene un rendimiento comercial de 8.2 a 9.3 t ha⁻¹ con un rendimiento de 12.3 t ha⁻¹ bajo condiciones de riego, humedad residual o buen temporal. Su grano es dentado de color blanco. Tiene un registro provisional de 3151-MAZ-1656-300615/C ante el CNVV (Espinosa *et al.*, 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la zona de estudio

El trabajo experimental se realizó en el ciclo primavera-verano de 2014, en dos localidades. La primera localidad ubicada en la parcela 7 del Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM, con coordenadas geográficas: 19°41' latitud norte y 99°11' longitud oeste a 2274 metros de altitud. La segunda localidad se estableció en el Campo experimental del Valle de México, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX- INIFAP). Con coordenadas geográficas: 19° 27' de latitud norte y 98° 51' de longitud oeste a una altitud de 2240 metros.

Los análisis de proteína y digestibilidad se realizaron en el laboratorio A 103 de Producción de Forrajes de Ingeniería Agrícola.

3.2. Datos agroclimáticos de la zona de estudio

3.2.1. Clima de la FES Cuautitlán

Se tiene presente un clima C (Wo) (w) b (i); templado, el más seco de los húmedos. La precipitación promedio en la localidad es de 605 milímetros, teniendo mayor presencia de lluvias en los meses de junio a octubre. La temperatura media es de 15.7 ° C, siendo junio el mes más caliente con una temperatura promedio de 18.3 ° C, y enero el mes más frío con una temperatura media de 11.8 °C. El promedio anual con presencia de heladas es elevado, con 64, empezando desde el mes de octubre y finalizando en el mes de abril, con mayor frecuencia en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero. Las heladas tempranas se pueden presentar a principios del mes de septiembre y tardías hasta el mes de mayo. (Tadeo *et al.*, 2012, Hagg, 2012 y Carbajal, 2018).

3.2.2. Clima de CEVAMEX-INIFAP

Se tiene presente un clima Cb (W0) (w)b(i')g; templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación anual es de 636.5 milímetros y con época seca durante el invierno. La temperatura media anual es de 15.2 °C siendo el mes de enero el más frío con una temperatura de 11.8 °C y mayo el mes más caluroso con una temperatura de 17.9 °C. Presenta poca oscilación térmica de 6 °C (Luna, 2009 y Carbajal, 2018).

3.2.3. Suelos

3.2.3.1. Suelos de la FES Cuautitlán.

Se presentan suelos de tipo vertisol pélico, caracterizándose por ser arcillosos, pesados y textura fina, con un pH varía entre los 6 y 7. Estos suelos se endurecen al perder agua, formando grietas profundas y pueden llegar a ser impermeables al paso del agua (Medina, 2018).

3.2.3.2. Suelos de CEVAMEX-INIFAP

Los suelos predominantes son los cambisoles con textura arcillo-arenosa, son suelos de origen aluvial y lacustre, lo que los hace altamente inundables, con un pH ácido y bajo contenido de materia orgánica (Medina, 2018).

3.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial, evaluando tres híbridos, dos densidades de población y dos ambientes, constituyendo 36 unidades experimentales para forraje y 36 unidades experimentales para rastrojo.

3.4. Material genético

Se evaluaron tres híbridos trilineales androestériles de maíz. El híbrido Tsíri Puma de grano blanco desarrollado en FES Cuautitlán, H 47 AE y H53 AE, desarrollados en CEVAMEX-INIFAP, para determinar la calidad en forraje y rastrojo bajo dos densidades de población en dos ambientes de la zona de Valles Altos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Distribución de los tratamientos de híbridos, destino de cosecha, densidad de planta por hectárea para evaluar la calidad en forraje y rastrojo de maíz.

Híbrido	Finalidad de la cosecha	Densidad de plantas ha ⁻¹
Tsíri Puma	Forraje	70 000
	Rastrojo	
H 47 AE	Forraje	95 000
	Rastrojo	
H 53 AE	Forraje	70 000
	Rastrojo	
H 53 AE	Forraje	95 000
	Rastrojo	

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Rendimiento de forraje de materia verde (RMV)

Para determinar el rendimiento de forraje de materia fresca se cortaron 10 plantas a una altura de 7 a 10 cm con respecto al suelo, se pesaron y se calculó el peso promedio por planta y se multiplicó por la densidad de plantas por hectárea.

El rendimiento se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{RMV} = \text{PFM} \times \text{DP}$$

Dónde:

RMF = Rendimiento en materia verde (t ha⁻¹).

PFM= Peso fresco promedio por planta.

DP= Densidad de población por cada tratamiento.

3.5.2. Rendimiento de forraje en materia seca (RMS)

Para determinar el rendimiento de forraje en materia seca se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{RMS} = \frac{(\% \text{MS})(\text{RMV})}{100}$$

Dónde:

RMS = Rendimiento de forraje en materia seca (t ha⁻¹).

%MS = Porcentaje en materia seca.

RMV = Rendimiento de forraje en materia verde (t ha⁻¹).

3.5.3. Rendimiento de rastrojo en materia húmeda (RRH)

Para esta determinación se cosecharon las plantas cuando estas alcanzaron su madurez fisiológica y una humedad en el grano (15 a 12%), se picó posteriormente se tomó y pesó una muestra homogénea de un kilo y se obtuvo el resultado con la fórmula siguiente.

$$\text{RRH} = \text{PRHP} \times \text{DP}$$

Dónde:

RRH = Rendimiento de rastrojo húmedo (t ha⁻¹).

PRHP = Peso de rastrojo húmedo por planta.

DP = Densidad de población.

3.5.4. Rendimiento de rastrojo en materia seca (RRS)

La muestra homogénea de un kilo para determinar el rendimiento de rastrojo en húmedo, se colocó en una estufa de aire forzado a una temperatura de 55° C. Se pesó y el resultado se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{RRS} = \text{PSRP} \times \text{DP}$$

Dónde:

RRS = Rendimiento de rastrojo en seco en t ha⁻¹.

PSRP = Peso seco de rastrojo por planta en t ha⁻¹.

DP = densidad de población.

3.5.5. Altura de planta

Se seleccionaron de 5 a 10 plantas por surco al azar, se midió la distancia desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a dividirse la espiga (panoja). Se tomó y registró la altura de la planta en centímetros.

3.5.6. Porcentaje de materia seca

Se determinó el porcentaje de materia seca por medio de la ecuación siguiente:

$$\text{PMS} = (1 - (\text{RMV} - \text{RMS} / \text{RMV})) \times 100$$

Dónde:

PMS= Porcentaje de materia seca.

RMV= Rendimiento en materia verde en t ha⁻¹.

RMS= Rendimiento en materia seca en t ha⁻¹.

3.5.7. Porcentaje de mazorca

Se tomaron 5 plantas, se separaron sus mazorcas y se secaron en una estufa de aire forzado hasta que tuvieron peso constante y se volvieron a pesar. Se obtuvo el peso promedio de mazorcas para cada tratamiento y se determinó el porcentaje de mazorca por medio de la siguiente fórmula:

$$\%Mca = \frac{PSMP}{PSPP} \times 100$$

Dónde:

% Mca = Porcentaje de mazorca.

PSMP = Peso seco promedio de mazorcas.

PSPP= Peso seco promedio de plantas.

3.5.8. Porcentaje de proteína

Se tomó una muestra del forraje utilizado, se secó en una estufa de aire forzado durante 72 horas y posteriormente fue procesada en un molino Wiley con una criba de un milímetro.

El contenido de proteína se determinó a partir del método de Micro Kjeldhal, que se basa en digerir la muestra en ácido sulfúrico (H_2SO_4) a su temperatura de ebullición junto con un catalizador a base de cobre (Cu) con sulfato de sodio (Na_2SO_4) para desencadenar una conversión del nitrógeno de la muestra en sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$). (AOAC, 2012 y Medina, 2018)

Una vez digerida la muestra se somete a un proceso de destilación en donde se adiciona una solución de hidróxido de sodio al 40% generándose amoníaco y vapor de agua. El amoníaco, es capturado en una solución de ácido bórico a 4% con solución indicadora y a partir de una volumetría ácido-base se determina la cantidad de nitrógeno existente en la muestra (Miller y Houghton, 1945 y Medina 2018).

El porcentaje de proteína se determinó con la siguiente ecuación

$$\%P = (N)(6.25)$$

Dónde:

% P = porcentaje de Proteína.

N = contenido de nitrógeno.

6.25 = Factor de conversión de nitrógeno a proteína (AOAC, 2012).

3.5.8.1. Procedimiento para la determinación de contenido de nitrógeno

El procedimiento en laboratorio para la determinación de porcentaje de proteína se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Se pesaron 0.3 g de muestra y 0.5 g de catalizador, para posteriormente ser colocados dentro de un matraz Kjeldahl.
2. Se le adicionó al matraz 3 ml de H₂SO₄ concentrado y se colocó en el biodigestor hasta que la muestra viró a un color azul verdoso, lo que indica que se digirió por completo la materia orgánica.
3. La sustancia fue colocada en un destilador Kjeldahl, adicionando una solución de NaOH al 40% mientras que en el extremo del condensador se colocó una solución de H₃BO₃ al 40%.
4. El resultado es NH₃, la cual se tituló con ácido clorhídrico (HCL) a 0.1 N.

El contenido de nitrógeno (N₂) se determinó de la siguiente manera:

$$N = \frac{(\text{ml HCL})(\text{NHCL})(1.4)}{W}$$

Dónde:

N = contenido de nitrógeno.

ml HCL = mililitros de ácido clorhídrico gastados.

NHCL= normalidad de ácido clorhídrico.

W = peso de la muestra en gramos.

1.4 = factor de ajuste para nitrógeno.

3.5.9. Porcentaje de Digestibilidad

Se utilizó el método de Tilley y Terry (1963), para determinar el porcentaje de digestibilidad *in vitro*. Se tomó una muestra del forraje utilizado, se secó en una estufa durante 72 horas y después se molió en un molino Willey con una criba de 1 mm. Posteriormente se realizó lo siguiente.

1. Se agregaron 0.3 g de muestra dentro del tubo de ensayo
2. Se adicionaron a cada tubo 50 ml de saliva de McDougall.

3. Después se agregaron 10 ml de líquido ruminal, y se le adicionó dióxido de carbono (CO₂) durante un tiempo de 15 segundos. Dentro de las muestras se incluyen dos blancos, los cuales contienen solamente saliva y líquido ruminal.

El líquido ruminal se extrajo de un bovino en ayunas del Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Se pesaron las muestras secas

El porcentaje de digestibilidad se determinó con la siguiente fórmula

$$\%DMS = \frac{(MSI) - (MSR - MSBLANCO)}{(MSI)} \times 100$$

Dónde:

% DMS = Porcentaje de digestibilidad de materia seca.

MSI = Materia seca inicial.

MSR = Materia seca residual.

MSBLANCO = Materia seca del blanco.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 10 se muestran los resultados de análisis de varianza para diversas variables analizadas, en la evaluación de los tres híbridos para producción de forraje y rastrojo. Se observaron diferencias altamente significativas ($P<0.01$) entre genotipos para las variables rendimiento de materia verde y altura de planta, y hubo significancia ($P<0.05$) para la variable de digestibilidad.

En el factor de variación densidad de población, se observaron diferencias altamente significativas ($P<0.01$) para las variables: porcentaje de materia verde, rendimiento en materia seca, y diferencias sólo significativas ($P<0.05$) en la variable de digestibilidad. Mientras que, entre ambientes, para las variables de: rendimiento en materia verde, rendimiento en materia seca, altura de planta, porcentaje en materia seca y altura de mazorca se detectaron diferencias altamente significativas ($P<0.01$).

Hubo significancias ($P<0.05$) para la interacción Genotipo x Ambiente en la variable de rendimiento en materia verde, en la interacción Densidad x Ambiente para la variable de digestibilidad, y en la interacción Genotipo x Densidad x Ambiente en las variables de rendimiento en materia verde y altura de mazorca.

Las medias obtenidas en los rendimientos de materia verde (RMV) y materia seca (RMS) fueron de 55.1 y 16.07 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 10). Estos valores son superiores a los reportados por García (2012), quién evaluó seis híbridos comerciales, obteniendo una media de rendimiento de 47 t ha⁻¹ en RMV y una media de 14.8 t ha⁻¹ en RMS, pero son inferiores a los reportados por López (2014) quien reportó una media de rendimiento de 76.2 t ha⁻¹ en materia verde y 22.6 t ha⁻¹ en materia seca. Por lo que respecta al porcentaje de digestibilidad y contenido de proteína se obtuvieron valores promedio de 73.4% y 8.1%, respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango de los obtenidos por Núñez *et al.* (2001), quienes reportaron porcentajes medios de 65.5% en digestibilidad y 8.4% para proteína.

En otra investigación realizada en la zona de estudio Fernández (2017), reportó los siguientes valores promedio: rendimiento en materia verde de 43.5 t ha⁻¹, rendimiento en materia seca de 16.0 t ha⁻¹, porcentaje de digestibilidad de 62.0 y contenido de proteína de 6.9%, valores inferiores a los obtenidos en la presente investigación

Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística para diversas variables de rendimiento y calidad de forraje en tres híbridos de maíz para producción de forraje y rastrojo en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo Primavera-verano 2014.

Factor de variación	RMV (t ha ⁻¹)	RMS (t ha ⁻¹)	AP (m)	MA (%)	MS (%)	DG. (%)	P (%)	AM (m)
Genotipo	112890261**	1052851	0.23**	89.5	5.21	65.0*	0.03	0.15
Bloque	27494435	334657	0.018	135.5	6.81	13.3	0.06	0.021
Densidad	483305782**	52794029.4**	0.001	24.1	1.06	106.3*	0.86	0.136
Ambiente	1223615558**	92620413.6**	1.284**	175.6	1323.15**	4.1	0.02	2.260**
Gen x Amb	65535236*	10590310	0.01	271.5*	0.87	33.6	0.53	0.255*
Den x Amb	9824	277184.7	0.004	270.6	2.831	83.9*	1.5	0.104
Blo x Amb	9007677	396381	0.061*	60.1	2.5	5.1	0.43	0.023
Gen x Den x Amb	51679970*	2415269	0.03	39.3	14.4	25.5	0.46	0.202*
Error	4069.196	1936.86	0.136	9.05	2.502	3.8	0.67	0.23
CV	7.38	12.05	5.1	24.58	8.39	5.2	8.3	18.58
Media	55.149	16.078	2.68	36.82	29.82	73.4	8.1	1.27

*Significativo al 0.05 de probabilidad de error. ** Altamente significativo al 0.01 de probabilidad de error, RMV= Rendimiento en materia verde, RMS= Rendimiento en materia seca, AP= Altura de planta, MA=mazorca, MS= Materia seca, DG=Digestibilidad, P=Proteína CV= Coeficiente de variación.

En la prueba de comparación de medias entre ambientes (Cuadro 11), se observó que en la variable de rendimiento en materia verde (RMV) el ambiente de CEVAMEX obtuvo un rendimiento de 60.98 t ha⁻¹, valor mayor en 19.1 % con respecto al ambiente de FES Cuautitlán que obtuvo un valor de 49.32 t ha⁻¹. Estos valores se ven relacionados con las alturas de plantas, debido a que en la localidad de CEVAMEX las plantas presentaron un porte más alto (2.9 m) en comparación a la localidad de FES Cuautitlán (2.5 m), a sí mismo las alturas de mazorca fueron mayores para CEVAMEX.

En contraste, el rendimiento en materia seca (RMS) y porcentaje de materia seca (MS), FES Cuautitlán fue superior estadísticamente en 18.08 % y 33.7% con respecto a los valores obtenidos en CEVAMEX. Esto fue a consecuencia de las condiciones climáticas de las dos localidades. El porcentaje de humedad en las planta fue de 76% en CEVAMEX y en FES Cuautitlán de 64%.

Las variables de porcentaje de mazorca, porcentaje de proteína y digestibilidad no presentaron diferencias entre los ambientes.

Cuadro 11. Comparación de medias en dos ambientes para tres híbridos de maíz para producción de forraje. Ciclo primavera – Verano 2014.

Ambiente	FES-C	CEVAMEX	DSH (0.05)
RMV(t ha ⁻¹)	49.3b	61.0a	2.7
RMS(t ha ⁻¹)	17.7a	14.5b	0.5
MS (%)	35.9a	23.8b	2.8
Mazorca (%)	39a	35a	6.3
Altura de planta (m)	2.5b	2.9a	0.09
Altura de mazorca (m)	1.0b	1.5a	0.2
Proteína (%)	8.0a	8.1a	0.5
Digestibilidad (%)	73.7a	73.0a	2.7

Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes. D.S.H.= Diferencia honesta significativa (P < 0.05). RMV= Rendimiento de materia verde, RMS= Rendimiento de materia seca, MS= Materia seca.

En el Cuadro 12, para la prueba de comparación de medias bajo dos densidades de población, hubieron diferencias significativas (P<0.05) en las variables rendimiento en materia verde (RMV), rendimiento en materia seca (RMS) y digestibilidad, siendo superior la densidad de 95 000 plantas por ha⁻¹ con valores de 58.8 t ha⁻¹ en RMV, 17.3 t ha⁻¹ en RMS y digestibilidad en 75.1%; mientras que la densidad de 70 000 plantas por ha⁻¹ obtuvo valores de: 51.5 t ha⁻¹ en RMV, 14.9 t ha⁻¹ RMS y en digestibilidad 71.7 %. Para las variables de porcentaje materia seca, porcentaje de mazorca, altura de planta, altura de mazorca y proteína, estadísticamente fueron similares, pero numéricamente fue mayor la densidad de 95 000 plantas ha⁻¹.

En estudios realizados por Peña *et al.* (2006) se observó que la densidad de población afectó la digestibilidad (*in vitro*) del forraje de maíz, ya que conforme la densidad de plantas aumentó la digestibilidad decreció. Stanton *et al.* (2007), reportaron disminuciones en el contenido de proteína y digestibilidad de 4 y 1.2%, respectivamente al aumentar la densidad de población de 49 000 a 124 000 plantas por ha⁻¹, sin embargo, hubo un incremento del 2.0 t ha⁻¹ en rendimiento de materia seca. En esta investigación, al aumentar la densidad de población de 70 000 a 95 000 plantas por hectárea, la digestibilidad aumentó en 3.4% y el rendimiento en materia seca se incrementó en 2.4 toneladas. En contenido de proteína no hubo diferencias significativas entre las dos densidades de población, pero se puede observar que con 95 000 plantas por hectárea se presentaron valores más altos.

Cuadro 12. Comparación de medias bajo dos densidades de población para tres híbridos de maíz pasa producción de forraje. Ciclo primavera – verano 2014.

Densidad de plantas/ha	RMV (t ha ⁻¹)	RMS (t ha ⁻¹)	MS (%)	Mazorca (%)	AP (m)	AM (m)	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
70,000	51.5b	14.9b	29.7a	36.0a	2.7a	1.2a	7.9a	71.7b
95,000	58.8a	17.3a	30.0a	37.6a	2.7a	1.3a	8.2a	75.1a
DSH(0.05)	2.8	1.3	1.7	6.3	0.09	0.16	0.47	2.65

Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes. D.S.H.= Diferencia honesta significativa (P < 0.05). RMV= Rendimiento de materia verde RMS= Rendimiento de materia seca, MS= Materia seca, AP= Altura de planta, AM= Altura de mazorca.

En la prueba de comparación de medias para producción de forraje y rastrojo (Cuadro 13), los híbridos Tsíri Puma y H 53 AE presentaron rendimientos superiores de materia verde (RMV) con 57.4 y 56.4 t ha⁻¹ con respecto al híbrido H 47 AE, este último fue inferior (P<0.05) en un 10% con un rendimiento de 51.7 ton ha⁻¹, los valores anteriores son altos, comparados a los obtenidos por Núñez (2015), quien registró rendimientos de 37.7 t ha⁻¹ en materia verde. En rendimiento en materia seca (RMS), porcentaje de materia seca (%MS) y porcentaje de mazorca, los tres híbridos evaluados presentaron resultados similares por lo tanto, no hubo diferencias significativas.

Los híbridos Tsiri Puma y H 47 AE obtuvieron valores superiores de altura de planta (2.8 y 2.7 m.), siendo superiores en un 9.6 % y 5.6% en comparación al híbrido H 53 AE que presentó una altura de 2.5 m.

Para la variable de digestibilidad, hubo diferencias significativas entre los materiales evaluados. El híbrido H 53 AE obtuvo el valor más alto con un 75% de digestibilidad, seguido del híbrido H 47 AE (73.1 %) y el híbrido Tsíri Puma (71.2 %), estos valores son aceptables comparados a los obtenidos por Peña *et al* (2002) quienes registraron digestibilidades de 69 a 72%, y superiores a las reportados en otras investigaciones realizados por López (2014), Fernández (2017) y Medina (2018) con 69.9, 62 y 67.9 % de digestibilidad, respectivamente. En proteína los valores obtenidos fueron similares para todos los materiales, Tsiri Puma y H 53 AE con 8.0% y para H 47 AE de 8.1%. Dichos valores se encuentra en el rango de los reportados por otros autores: López (2014) que obtuvo valores promedio de 8.6%, Medina (2018) con valores promedios de 8.4% y superior a los reportados por Fernández (2017) con datos promedios de 7%.

Cuadro 13. Comparación de medias de los diferentes híbridos de maíz para la producción de forraje y rastrojo en dos ambientes bajo dos densidades de población. Ciclo Primavera-verano 2014.

Genotipo	Tsíri Puma	H 53 AE	H 47 AE	D.S.H. (0.05)
RMV(t ha ⁻¹)	57.4 a	56.4a	51.7 b	4.2
RMS(t ha ⁻¹)	16.3 a	16.9 a	15.1a	2.0005
MS (%)	29.1 a	30.3 a	30.0a	2.58
Altura Planta (m)	2.8 a	2.5 b	2.7 a	0.14
Mazorca (%)	34.3 a	36.4 a	39.3 a	9.35
Altura mazorca (m)	1.2 a	1.4 a	1.2 a	0.24
Proteína (%)	8.0a	8.0a	8.1a	0.7
Digestibilidad (%)	71.2b	75.9a	73.1ab	3.9
Rend. en rastrojo húmedo (t ha ⁻¹)	17.4a	12.5b	12.8b	2.7812
Rend. Rastrojo en MS (t ha ⁻¹)	13.9a	10.3b	11.6ab	2.6768
Proteína en Rastrojo (%)	5.2ab	4.9b	5.5a	0.4
Digestibilidad en rastrojo (%)	65.4a	70.7a	64.7a	6.26

RMV= Rendimiento en materia verde, RMS= Rendimiento en materia seca, MS= materia seca. Rend. = Rendimiento.

Para rendimiento de rastrojo húmedo, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los híbridos. Tsíri Puma con un rendimiento de 17.4 t ha⁻¹, valor superior en un 25% a los híbridos H 53 AE (12.6 t ha⁻¹) y H 47 AE (12.9 t ha⁻¹). De la misma manera para rendimiento en rastrojo en materia seca el mejor material fue el híbrido Tsíri Puma con un valor de 13.9 t ha⁻¹, valor mayor en un 26% y 17% a los presentados en los híbridos H 53 AE y H 47 AE, Muñoz *et al.* (2016), reportaron rendimientos en materia seca de 6 a 8 ton ha⁻¹.

No existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) para la variable porcentaje de proteína en rastrojo, registrando una media de 5.2 %, un valor similar al obtenido por Castañeda y Monroy en 1984 (5.9%), quienes analizaron el contenido de nutrientes los rastrojos de cuatro cultivos, incluidos el rastrojo de maíz. Para digestibilidad no se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los genotipos.

En los cuadrados medios (Cuadro 14), se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para los factores genotipo y densidad, en las variables de rendimiento en rastrojo húmedo y

rendimiento de rastrojo en materia seca. Asimismo, en el factor ambiente se registraron diferencias altamente significativas para las variables de rendimiento de rastrojo en húmedo, rendimiento de rastrojo en materia seca, porcentaje de proteína y digestibilidad.

Se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) para el factor densidad en porcentaje de proteína. Los factores de bloque e interacción genotipo x ambiente, no presentaron diferencias de significancias en todas las variables evaluadas.

La media obtenida en digestibilidad fue de 66.9%, resultado que se encuentra en el rango de los obtenidos por Fuentes *et al.*, (2001), el cual reportó datos de 66.05 y 72 % de materia digerible en rastrojo de maíz.

Cuadro 14. Cuadrados medios y significancia estadística para diversas variables de rendimiento y calidad de rastrojo en tres híbridos de maíz para producción de rastrojo en dos ambientes bajo dos densidades de población, ciclo Primavera-verano 2014.

Variable	Rendimiento en húmedo (t ha ⁻¹)	Rendimiento en materia seca (t ha ⁻¹)	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
Genotipo	88386625.7**	42755184.0**	1.02**	127.88
Bloque	11310276	4670404.9	0.5	13.32
Densidad	15295556.3**	188845312.4**	0.84*	30.61
Ambiente	135547806.3**	219871561.1**	3.80**	446.61**
Gen*amb	1277931.2	1872865.8	0.44	86.87
Error	2.747	2.644	0.4	0.4
CV	19.24	22.15	7.6	7.63
Media	14.275	11.937	5.24	66.9

*Significativo al 0.05 de probabilidad de error. ** Altamente significativo al 0.01 de probabilidad de error, MS= Materia seca, CV= Coeficiente de variación.

En la comparación de medias de dos ambientes para rastrojo (Cuadro 15), en la FES Cuautitlán se obtuvieron mayores valores para las variables: Rendimiento de rastrojo en húmedo, rendimiento de rastrojo en materia seca, porcentaje de proteína y digestibilidad, siendo este ambiente superior en un 23%, 34%, 11% y 10%, respectivamente en comparación al ambiente de CEVAMEX.

Muñoz *et al.*, (2013), reportaron rendimientos de rastrojo de maíz en materia seca de 1.3 a 6.2 t ha⁻¹ en dos localidades de Valles Altos de Libres-Serdán. Valores muy por debajo a los obtenidos en las localidades de FES Cuautitlán y CEVAMEX con 14.4 y 9.5 t ha⁻¹, respectivamente.

Cuadro 15. Comparación de medias en dos ambientes para tres híbridos de maíz para la producción de rastrojo, ciclo primavera- verano 2014.

Ambiente	Rendimiento en húmedo (t ha ⁻¹)	Rendimiento en materia seca (t ha ⁻¹)	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
FES-C	16.21 a	14.41a	5.6 a	70.4 a
CEVAMEX	12.3 b	9.5 b	4.9 b	63.4 b
DSH(0.05)	1.879.3	1.808.8	0.27	4.23

D.S.H.= Diferencia honesta significativa (P< 0.05).

V. CONCLUSIONES

1. Tsíri Puma y H 53 AE presentaron rendimientos más altos en materia verde con respecto al H 47 AE, con valores de 57.4 y 56.4 t ha⁻¹, respectivamente.
2. En rendimiento en materia seca, no se presentaron diferencias significativas entre los tres híbridos evaluados.
3. La densidad de población de 95,000 plantas ha⁻¹, evidenció rendimientos superiores en materia verde y en materia seca con respecto a la densidad de población de 70 000 plantas ha⁻¹, con valores de 58.8 ton ha⁻¹ y 17. 3 t ha⁻¹, respectivamente.
4. Para contenido de proteína en forraje, los tres materiales tuvieron resultados aceptables, con valores de 8.0 a 8.1%, similares a los obtenidos por otros investigadores en la región de estudio.
5. Los híbridos que constituyen una alternativa para los productores en la zona de Valles altos de México son: Tsiri Puma y H 53 AE que presentaron mayores rendimientos de materia verde y rastrojo.
6. Los tres híbridos evaluados presentaron altos valores de digestibilidad para forraje y rastrojo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Améndola, M. (2016). Conservación de alimentos para pequeños rumiantes. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Argamentería G. A., B. de la Roza, A. Martínez, L. Sánchez y a. Martínez. (1997). El ensilado en Asturias. Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria (CIATA). p. 1-127.
- Ávila Téllez S. (1986). Producción intensiva de ganado lechero. CECSA. Pp.160-189.
- Bonilla, M. N. (2009). Manual de recomendaciones técnicas de cultivo de maíz. Instituto Nacional de Innovación y Transparencia de Tecnología Agropecuaria INTTA. San José Costa Rica. pp. 155.
- CAÑETE M. V. Y J.L. SACHA. 1998. Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes, p. 1- 260.
- Castañeda, F. E. A. y Monroy, V. J. (1984). Métodos de procesamiento de subproductos agrícolas para elevar su valor nutricional. Centro de Ganadería, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- CONACYT. (2014). Maíz. Consultado el día 25 de julio del 2018. Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>.
- Conde, E. R. (2007). Residuos agrícolas, forestales, ganaderos e industriales. Ed. Instituto de Investigaciones Ecológicas. Málaga, España.
- Correa, L. M. (2008). Pastoreo de maíz y soja en cría bovina intensiva. Publicación Miscelanea N. 41. EEA Oliveros, Centro Regional Santa Fe, Argentina: IMTA.
- Cox, W. J. and Cherney, D. R. (2001). Row spacing, plant density and nitrogen effects on corn silage. *Agron. J.* 93: 597–602.
- DE LA ROZA-DELGADO B., MARTINEZ A. Y ARGAMENTERIA A. (2002). Determinación de la materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. Pp. 91-93.
- Espinosa, C., Tadeo, R., Turrent, F., Sierrah, M., Gómez, M., Virgen, V., Palafox, C., Caballero, H., Arteaga, E., Canales, I., Zamudio, G. (2010a). H-53 AE Híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos. Memoria Técnica 11. Pp. 17-18. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.
- Espinosa, C., Tadeo, R., Turrent, F., Sierra, M., Gómez, M., Virgen, V., Palafox, C., Caballero, H., Arteaga, E., Canales, I. (2010b). H-47 AE Híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos. Memoria Técnica 11. Pp. 15-16. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.

- Eyhorn, F.; Heeb, M. y Weidmann, G. (2002). Manual de capacitación en agricultura orgánica para los trópicos. Bonn, Alemania: IFOAM/FiBL.
- FAO. (2011). Conservación de Forrajes: Henificado. Consultado el día 11 de agosto del 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-as962s.pdf>.
- Fernández, G. (2017). Rendimiento y calidad de forraje en híbridos de maíz con diferentes fechas de corte en el Estado de México. Tesis de licenciatura de la carrera de ingeniería Agrícola FESC. UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.
- 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, 189-192.
- García, F. (2012). Transformación del maíz forrajero a leche. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Consultado el día 25 de Agosto del 2018. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2718/FELIPE%20CARLOS%20GARCIA%20SALAS.pdf?sequence=1>.
- Hagg, T. F. (2012). Capacidad productiva de híbridos trilineales de maíz amarillo de ciclo intermedio para los Valles Altos. Tesis de licenciatura de la carrera de ingeniería Agrícola FES C, UNAM. Campo 4. Cuautitlán Izcalli, México. pp. 18.
- Horrocks, D., y Vallentine, J. (1999). Harversted forages. Ed. Academic Press. USA. Pp. 426.
- INEGI. (2012). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). México. 155p.
- INTA. (2014). Nutrición animal aplicada. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca. Consultado el día 28 de julio del 2018. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_curso_nutricin_animal_aplicada_2014.pdf.
- Klein R, F. (1994). Utilización de ensilaje de maíz en producción de leche. Boletín técnico Remehue N. 213. Chile: 1-17.
- López L, C. (2014). Productividad de grano y forraje en dos densidades de población de híbridos de maíz androestériles y fértiles (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, Edo de México. 49p.
- 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. Universidad de Colima: tesis doctoral. Consultado el día 24 julio 2018. Disponible en: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Rafael%20Julio%20Macedo%20Barragan%20DOCTORADO.pdf.

- Manera, C. (1998). Evaluación del rendimiento en materia verde y materia seca de híbridos de maíz con fines forrajeros en valles altos. Tesis de licenciatura de la carrera de ingeniería Agrícola FESC. UNAM. Cuautitlán Izcalli, México. pp. 13-19
- Medina, F. (2018). Rendimiento y valor nutricional de forraje en híbridos de maíz. Tesis de Licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM. Ingeniería Agrícola. 56 p.
- Morales Rodríguez R. (2003). Producción de Materia Seca y Digestibilidad in situ del forraje de 85 genotipos del Pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Pp 19-20.
- Muñoz, T. F., Guerrero, R. J., López. P. A., Gil, M. A., López, S., Ortiz, T. E., Hernández, G. J., Taboada, G., Vargas, L. S., Valadez, R. M., (2016). 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, T., Guerrero, R., López, A., Gil, M., López, S., Ortiz, T., J. Hernández, G., Taboada, G., Vargas L., Valadez, R. (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*. Pp. 517- 523.
- Muñoz, F. (2011). Producción, valor nutricional y aprovechamiento del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán, Puebla, México. Colegio de Postgraduados: tesis de maestría. Consultado el día 26 de julio de 2018. Disponible en: <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/602>.
- Muñoz, A. (2005). Centli Maíz San Vicente Chicoloapan, Edo. De México., México: Colegio de Postgraduados.
- Ospina, J. G. (2015). Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Antioquia. Consultado el día 24 de Agosto de 2018. Disponible en; <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20%20MAIZ.pdf>
- Peña, R. A., González C. F., Núñez H., L. H. Maciel. (2006). Producción y calidad forrajera de híbridos precoces de maíz en respuesta a fechas de siembra, nitrógeno y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 207-213.
- Ramírez RG, Neira RR, Ledezma RH, Garbaldi C. (1994). Ruminant degradation of dry matter, crude protein and cell Wall of various shrub forages. En: National Conf. On Forage Quality. Evaluation and Utilization. University of Nebraska Lincoln, USA.
- Ruiz C, J., G. Medina, G., I. González A., y H. Flores L. (2013). Requerimientos agroecológicos de los cultivos (2 ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP. Jalisco, México. pp 489.

- Ruiz, O. D. (2010). Diferenciación de características agronómicas de maíz forrajero, con diferentes tratamientos de fertilización orgánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila México.
- Schroeder J.W. (2004) .Silage Fermentation and Preservation. Quality Forage series. North Dakota State University. 7 pp. Disponible en: <https://www.ag.ndsu.edu/pubs/ansci/range/as1254.pdf>.
- SIACON-SIAP. (2011). SIACON 1980- 2011. Distrito Federal, México: SIAP. Consultado el día 24 de junio de 2018. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=286:iacon&catid=62:portada&Itemid=428
- Stanton D., Grombacher A., Pinnisch R., Mason H y Spaner D. (2007). Hybrid and population density affect yield and quality of silage maize in central Alberta. Department of Agricultural, Food and Nutritional Science, Canada. Pp. 869- 871.
- Tadeo, R., Espinosa, C., Garcia, Z., Lobato, O., Gómez, M., Sierra, M. Valdivia, B., Zamudio, G., Martínez, B., López, L. C., Mora, G., Canales, I., Zaragoza, E. (2016). Tsiri Puma, Híbrido de maíz para Valles Altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. Revista Fitotecnia Mexicana. 39 (3): 331-336.
- Tadeo, R., Espinosa, C., Zaragoza, E., Turrent, F., Sierra, M., Gómez, M. (2012). Forraje y grano de híbridos de maíz amarillos para Valles Altos de México. Revista de Agronomía Mesoamericana. pp. 2811-288. Viveros-Flores CE, Gil-Muñoz A, López PA, Ramírez-Valverde B, Guerrero-Rodríguez JdD, Cruz-León A. (2010). Patrones de utilización de maíz en unidades de producción familiar del valle de Puebla, México. Trop Subtrop Agroecosyst; 12:447-461.
- Tilley, J. M. and Terry, R. A. 1963. A two stage technique for the in vitro digestión of forage crops. J. Brit Grassland Soc. (18):104-111.
- Zaragoza, E. (2016). Apuntes de Producción de Forrajes y Manejo de Pastizales. Pp. 50-150.
- Zaragoza, E., Tadeo, R., Espinosa, C., López, L., García, E., Zamudio, G., Turrent, F., Rosado, N. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pp. 102-105