



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

RENDIMIENTO Y VALOR NUTRICIONAL DE FORRAJE EN
HÍBRIDOS DE MAÍZ

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

PRESENTA:

MARIA FERNANDA MEDINA FERNANDEZ

ASESOR:

DR. JOOB ZARAGOZA ESPARZA

Cuatitlán Izcalli, Edo. de México., 2018



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
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTÁZAR 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

Rendimiento y valor nutricional de forraje en híbridos de maíz

Que presenta la pasante: MARÍA FERNANDA MEDINA FERNÁNDEZ
Con número de cuenta: 30927487-2 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 09 de abril de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Edgar Ornelas Díaz	
VOCAL	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
SECRETARIO	Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza	
1er. SUPLENTE	Dra. Margarita Tadeo Robledo	
2do. SUPLENTE	Ing. Consuelo López López	

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

LMCF/ntm*

Dedicatoria

A mi familia, que siempre ha estado para mí, como el pilar que sostiene una gran edificación, y que sin pedirme nada a cambio, me han otorgado su amor y su apoyo incondicional.

A mi Tita, que con mano dura y cariño ha forjado la persona en la que me he convertido.

A mi Tata, por heredarme el amor que le tengo al campo y transmitirme con pasión y cariño sus vivencias.

A mi tía Magda, que ha sido en mi vida un todo, una madre, una hermana, una amiga y que siempre está conmigo en los buenos y los malos momentos. Sin su cariño, seguramente, no hubiera llegado tan lejos. Te amo y te agradezco todo lo que haces por mí día con día.

A mi mamá, por nunca negarme su cariño y su apoyo, por presionarme para poder llevar a término este logro.

A Pedro, por siempre procurarme y ofrecerme su tiempo como mi padre. No tengo forma de agradecer tu preocupación y tus consejos.

A mis hermanos Claudia y Juan, que han sido el motor de todos mis logros. El ser su hermana mayor me motiva a crecer para poder apoyarlos siempre que lo requieran.

Y a Guillermo, por siempre ser incondicional, por no dejar que me rinda en mis momentos de crisis y por ayudarme a trazar mi camino. Le doy gracias a la vida el haberme encontrado contigo en este sendero.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, mi máxima casa de estudios, por abrirme sus puertas y otorgarme las herramientas para perseguir mis sueños y ser un miembro valioso para la sociedad.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, que en cada rincón de sus instalaciones tuvo enseñanzas valiosas que ofrecerme.

A todo el personal docente de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, que humildemente ofrecen sus conocimientos para formar nuevos miembros profesionales de esta sociedad, y que su labor incansable ha hecho de mí una persona capaz de enfrentar retos de manera ética.

A la doctora Margarita Tadeo y al doctor Alejandro Espinosa, quienes me abrieron las puertas para pertenecer a su equipo, sin ustedes este trabajo no hubiera podido realizarse. Agradezco su consejo constante y su guía no sólo relacionadas con este trabajo, si no también relacionadas con el día a día.

Al doctor Joob Zaragoza, le agradezco especialmente su humildad, paciencia y enseñanzas. Agradezco a la vida haberme encontrado con alguien con tanta calidad humana como usted, espero que siga alimentando a las siguientes generaciones con esa actitud tan gentil y llena de valores.

Agradezco también al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT: IT201618, por otorgar recursos económicos que fueron de gran apoyo para la realización de este trabajo de investigación.

Agradezco a todo el equipo de semillas, sobre todo a los que estuvieron apoyándome sin pedirme nada a cambio. Gracias a Arturo Chávez y a Saúl Velasco por apoyarme con mis muestras cuando mi situación laboral y personal me impedía continuar los análisis.

Agradezco también a Consuelo López, a Julio César Espinosa y a Israel Arteaga, quienes siempre estuvieron para apoyarme en uno o más aspectos de mi trabajo y del proceso de titulación. En general agradezco a todo el equipo de semillas que como una manada siempre están para apoyarse los unos a los otros.

En general agradezco a todos mis sinodales, que sin sus correcciones este trabajo no hubiera alcanzado la calidad que tiene.

Especialmente quiero agradecer al laboratorio central de Cargill, que gentilmente me abrió las puertas al mundo de la nutrición animal y con sus recursos apoyó a la culminación de este proyecto.

Agradezco a Alejandro González por permitirme realizar algunos análisis incluidos en este proyecto con recursos del laboratorio central.

A Lourdes Calvillo por otorgarme con humildad un montón de conocimientos nuevos, y que aunque “me dieras con la cubeta de la leche” estuve aprendiendo constantemente no sólo química, si no valores y aspectos importantes de mi vida.

Agradezco en general a todos los integrantes del laboratorio central, porque de todos aprendí algo positivo para mi vida, de algunos incluso lo que no quiero llegar a ser.

CONTENIDO GENERAL

I.	Introducción.....	1
1.1.	Objetivos	3
1.1.1.	Objetivo general.....	3
1.2.	Hipótesis	3
II.	Revisión de literatura.....	4
2.1.	Antecedentes	4
2.2.	Origen del maíz.....	4
2.3.	Clasificación taxonómica del maíz.	4
2.4.	Características descriptivas del maíz.....	5
2.4.1.	Etapas de desarrollo del maíz.....	6
2.5.	Distribución y adaptación	6
2.6.	Requerimientos agroecológicos del maíz.....	7
2.6.1.	Temperatura	7
2.6.2.	Precipitación	7
2.6.3.	Radiación solar	8
2.6.4.	Suelo.....	8
2.7.	Fisiología y metabolismo.....	8
2.8.	Híbridos de maíz	8
2.9.	Características del maíz como planta forrajera	9
2.10.	Producción y manejo de maíz con características forrajeras.....	10
2.11.	Ensilado del maíz.....	12
2.12.	Digestión en rumiantes	14

2.13.	Características nutricionales del maíz como forraje.....	16
2.14.	Materia seca	18
2.15.	Proteína cruda	18
2.16.	Digestibilidad.....	20
2.16.1.	Factores del vegetal que influyen en la digestibilidad.....	20
2.17.	Fibra.....	22
2.18.	Fibra detergente neutra	23
2.19.	Fibra detergente ácida	23
III.	Materiales y métodos	25
3.1.	Localización del experimento	25
3.2.	Material genético.....	25
3.3.	Diseño experimental.....	26
3.4.	Establecimiento del experimento y manejo agronómico	26
3.5.	Cosecha.....	27
3.6.	Variables evaluadas.....	27
3.6.1.	Rendimiento en materia verde	27
3.6.2.	Rendimiento de materia seca	28
3.6.3.	Porcentaje de materia seca	28
3.6.4.	Altura de planta.....	29
3.6.5.	Altura de la mazorca	29
3.6.6.	Floración masculina	29
3.6.7.	Floración femenina	29
3.6.8.	Porcentaje de mazorca	29
3.6.9.	Porcentaje de proteína.....	30
	Procedimiento para determinar proteína.....	30

3.6.10.	Digestibilidad <i>In Vitro</i>	31
3.6.11.	Porcentaje de Fibra Detergente Neutra y Fibra Detergente Ácida.....	32
3.7.	Análisis estadístico.....	34
3.8.	Tipos de suelo.....	34
3.9.	Datos climáticos	35
IV.	Resultados y discusión.....	38
V.	Conclusiones.....	46
	Bibliografía	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Etapas fenológicas del maíz.....	6
Cuadro 2. Rendimiento y composición de maíz forrajero.....	17
Cuadro 3. Fechas de siembra, cosecha y días de desarrollo del experimento	27
Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística para diversas variables de rendimiento y calidad de forraje en nueve híbridos de maíz considerando la media de tres ambientes en el Valle de México. Ciclo primavera - verano 2016.	38
Cuadro 5. Comparación de medias entre nueve híbridos de maíz de Valles Altos de México para diversas variables evaluadas considerando la media de los tres ambientes establecidos. Ciclo primavera - verano 2016.	40
Cuadro 6. Comparación de medias en variables evaluadas de valor nutricional en nueve híbridos de maíz considerando la media de los tres ambientes establecido en los Valles Altos de México. Ciclo primavera - verano 2016.	41
Cuadro 7. Comparación de medias de tres ambientes para las variables de rendimiento de forraje, considerando la media de los nueve híbridos evaluados. Ciclo primavera - verano 2016.	43
Cuadro 8. Comparación de medias de tres ambientes para las variables de calidad de forraje, considerando la media de los nueve híbridos evaluados. Ciclo primavera - verano 2016.	44

Resumen

En las principales cuencas lecheras de México, el maíz (*Zea mays* L.) es el forraje más importante para la alimentación del ganado bovino productor de leche debido a su alto rendimiento y contenido de energía. Como forraje, el maíz tiene alta productividad, contenidos bajos de proteína y elevado valor energético, sin embargo, en el país los ensilados de maíz tienen un valor de energía neta de lactancia de 1.3 Mcal por kilogramo lo que se traduce como bajo, lo anterior, puede atribuirse al énfasis dado al rendimiento por hectárea, sin considerar el valor nutritivo.

El maíz como forraje se suministra en forma de ensilado, un método de conservación de forrajes con alto contenido de humedad que permite a la flora bacteriana realizar procesos fermentativos promoviendo un mejor aprovechamiento del valor nutritivo del maíz. Por definición el valor nutritivo del forraje es el resultado de tres factores: el consumo por el animal, su digestibilidad y la eficiencia con que el animal utiliza su forraje. El estado de madurez de la planta a la cosecha es el principal factor que afecta el valor nutritivo y las características de fermentación del ensilado de maíz.

La presente investigación consistió en la evaluación de nueve híbridos de maíz con potencial forrajero para la zona de los Valles Altos de México ya que por lo general, los híbridos forrajeros son seleccionados arbitrariamente por su capacidad productora de materia seca y poco interés se ha puesto en mejorar su calidad nutritiva, sin embargo, la calidad del forraje influye notablemente en la producción animal, y a medida que la calidad disminuye, también lo hace la digestibilidad, el nivel de consumo por parte del animal y , por consiguiente, la producción de carne y leche.

En Valles Altos, región ubicada entre 2200 a 2600 msnm, es necesario ofrecer más y mejores variedades para los productores de maíz, por ello se requiere evaluar híbridos de maíz, para definir aquellos que se adapten a las condiciones ambientales y que presenten características de buen rendimiento y calidad de forraje, superiores o similares a las de los híbridos comerciales, con el objetivo, de

determinar las mejores variedades, más adecuadas y poder ofrecer a los productores una alternativa tecnológica y accesible. En esta investigación se realizó una evaluación de nueve híbridos de maíz en dos localidades del estado de México con tres diferentes estados de desarrollo. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar en un arreglo factorial, tres ambientes y tres repeticiones constituyendo un total de 81 unidades experimentales evaluando la interacción híbridos x ambiente en las variables: Rendimiento de materia verde, rendimiento de materia seca, altura de planta, altura de mazorca, porcentaje de materia seca, porcentaje de mazorca, proteína cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y digestibilidad *in vitro*.

Se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre híbridos en las variables de rendimiento de materia verde, rendimiento de materia seca, altura de planta y porcentaje de materia seca. En las variables de valor nutricional como proteína cruda, fibra detergente neutra y ácida y digestibilidad *in vitro* no se encontró diferencia entre genotipos evaluados. Entre ambientes, hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en el rendimiento de materia verde, materia seca porcentaje de mazorca, porcentaje de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutra y ácida.

Las conclusiones que se definieron en el trabajo señalan que los híbridos H 49 AE y TLAOLI PUMA presentaron las características más deseables respecto al resto de los materiales evaluados. Otras conclusiones fueron:

El rendimiento medio de materia seca para todos los genotipos fue de 15.8 ton ha^{-1} siendo superior el híbrido TLAOLI PUMA en un 127% respecto al híbrido H 49 AE con 21.5 ton ha^{-1} . Se presentó una correlación entre el rendimiento de materia verde y la altura de planta, siendo superior el híbrido H 49 AE con 70.3 ton ha^{-1} de materia verde.

Los híbridos TLAOLI PUMA y H 49 AE presentaron las mejores características en cuanto a rendimiento de materia seca y materia verde, con respecto al resto de los materiales evaluados, por lo que constituyen una alternativa para la producción de maíz forrajero en la región de estudio

El híbrido experimental CSE FESC 1, presentó un menor porcentaje de materia seca en 37.6% que el resto de los genotipos evaluados.

En las variables de proteína cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y digestibilidad in vitro no se presentaron diferencias significativas entre los híbridos evaluados.

La cosecha realizada en FES Cuautitlán a los 125 días de desarrollo obtuvo mayor rendimiento de materia seca y menor porcentaje de proteína cruda respecto a los ambientes establecidos en CEVAMEX.

El porcentaje de materia seca varió en un 15.1% siendo mayor en la FES Cuautitlán con respecto al ambiente establecido en CEVAMEX con 147 días de desarrollo.

La cosecha realizada a los 147 días de desarrollo en CEVAMEX obtuvo mayor porcentaje de proteína y menor porcentaje de FDN y FDA, traduciéndose como mayor calidad nutricional.

No se presentaron diferencias significativas en los porcentajes de digestibilidad con respecto a los ambientes evaluados obteniendo una media de 67.8% de materia digerible.

El ambiente establecido en Cuautitlán y cosechado a los 125 días obtuvo un promedio de 19 ton ha⁻¹ de materia seca, superando a los ambientes evaluados en CEVAMEX a los 133 y 147 días de desarrollo. Mientras tanto, el ambiente establecido en CEVAMEX a los 147 días de desarrollo presentó 9.4% de proteína cruda siendo superior ($P < 0.05$) con respecto a la media obtenida en los otros dos ambientes evaluados.

En el ambiente establecido en CEVAMEX con 147 días de desarrollo, se obtuvo una media de 9.4% de proteína cruda, valor que es superó ($P < 0.05$) al obtenido en los otros dos ambientes evaluados.

I. Introducción

En el año 2016 se cosecharon 8,199,750 ha de maíz, de las cuales sólo 601,663 fueron destinadas para producción de forraje, es decir el 7.3% según los datos reportados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016).

El maíz forrajero es un cultivo de gran importancia para la ganadería, ya que puede suministrarse al ganado fresco, como ensilado o como rastrojo. El ensilaje permite disponer de alimento de buena calidad 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 lechero (López, 2017).

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta adaptada a una gran diversidad de ambientes, caracterizada por una alta capacidad de producción de materia seca (Peña *et al.*, 2002), además, es uno de los cultivos forrajeros suplementarios más exitoso entre los productores debido a su alto contenido energético (1.5 Mcal kg^{-1}) y buena concentración de nutrientes por unidad de superficie, a pesar de su bajo valor proteico (7%) (Mena, 2010; Núñez *et al.*, 2010).

Para la alimentación del ganado bovino, el maíz es el forraje más importante debido a sus características, desafortunadamente, en México los ensilados de maíz presentan un contenido energético bajo (alrededor de 1.3 Mcal kg^{-1} de materia seca), en comparación a los ensilados de Estados Unidos y Europa (1.7 Mcal kg^{-1} de materia seca), esto se debe principalmente al escaso mejoramiento genético para la generación de híbridos con características forrajeras (Wesley, 2001; Núñez *et al.*, 2004; González *et al.*, 2006).

Núñez (2005), menciona que en México la producción de ensilado de maíz se caracteriza por presentar bajo rendimientos de materia seca por hectárea, bajo contenido de grano y, además, alto contenido de fibra que ocasiona que la digestibilidad y la energía del forraje sean bajos, sin embargo, existe suficiente evidencia para señalar que existen diferencias entre genotipos en el contenido de materia seca, porcentaje de fibra y digestibilidad. Por lo anterior resulta

indispensable la evaluación híbridos de maíz con el objetivo de producir forraje, que proporcionen además de altos rendimientos una mejor calidad de forraje.

En nuestro país la iniciativa privada genera investigación y tecnología para producir sus propias variedades de maíz con características deseables, sin embargo, la mayoría de estas empresas pertenecen a corporativas trasnacionales como DuPont, Monsanto, Syngenta y Dow, que acaparan el mercado y ofrecen sus semillas a un alto costo. Es por ello que investigadores del Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP) y de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) trabajan en colaboración para desarrollar materiales alternativos que faciliten a los productores el acceso a materiales de calidad y a un costo más bajo. Sin embargo, antes de comercializar la semilla es necesario determinar la capacidad productiva de grano y forraje y la calidad de los materiales generados.

En las zonas de los Valles Altos de México, región ubicada entre 2200 a 2600 msnm, es necesario ofrecer más y mejores variedades para los productores de maíz, por ello se requiere evaluar híbridos de maíz que se adapten a las condiciones ambientales y que presenten características de rendimiento y calidad de forraje, superiores o similares a las de los híbridos comerciales, con el objetivo, de determinar las mejores variedades y poder ofrecer a los productores una alternativa tecnológica y accesible.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar el rendimiento de forraje y valor nutricional de nueve híbridos de maíz para producción de forraje en tres ambientes diferentes.

1.1.2. Objetivos particulares

Definir cuáles son los híbridos que presentan características deseables en rendimiento de materia verde y materia seca en los tres ambientes.

Determinar las diferencias de proteína, digestibilidad *in vitro*, fibra detergente ácida y fibra detergente neutra entre nueve híbridos.

Identificar los híbridos que presenten mejores características productivas y de calidad para ofrecer una alternativa a los productores de maíz de los Valles Altos de México.

1.2. Hipótesis

Los híbridos evaluados presentarán diferencias en rendimiento y el valor nutricional del forraje, además, tendrán diferente comportamiento respecto a los tres ambientes establecidos.

II. Revisión de literatura

2.1. Antecedentes

El maíz pertenece a los tres granos básicos que alimentan a la humanidad junto con el trigo y el arroz. Tuvo su origen en las montañas y valles de México, y a través de un proceso coevolutivo con los antiguos pobladores en dónde se condujo la formación de una de las plantas cultivadas con mayor diversidad genética (Kato *et al.*, 2009), además, el maíz es una planta que ha sido utilizada como forraje para la alimentación de ganado en diferentes formas, tales como rastrojo, grano y ensilado (Jurado *et al.*, 2014). Es utilizado como forraje debido a su alta producción de materia seca, elevado contenido de grano, palatabilidad, bajo costo y facilidad de manejo agronómico. Este cultivo presenta dos atributos importantes como son los altos niveles energéticos localizados en el grano y los altos niveles de fibra localizada en el tallo (84%) (Rodríguez, 2010).

2.2. Origen del maíz

El teocintle anual mexicano, denominado *Zea mays ssp. parviglumis* (perteneciente a la raza Balsas) es el ancestro del maíz, así mismo, hay evidencias de que las poblaciones en que preponderó se ubicaron en los que actualmente son los estados de Michoacán, Estado de México y Guerrero. Los datos moleculares sugieren que la domesticación del maíz se llevó a cabo hace aproximadamente 9000 años, lo que resulta consistente con la evidencia arqueológica encontrada (Ramos, 2013). El ecosistema que dio lugar al maíz es de invierno seco estacional alternado con lluvias en verano y en una región montañosa de cuevas empinadas y roca caliza (Acosta, 2009).

2.3. Clasificación taxonómica del maíz.

El maíz y sus parientes silvestres los teocintles, se clasifican dentro del género *Zea* perteneciente a la familia *Gramíneae* o *Poaceae*, que incluye también a importantes cultivos agrícolas como el trigo, arroz, avena, sorgo, cebada y caña de azúcar. Su nombre científico corresponde a *Zea mays* L (CONACYT, 2014).

De acuerdo con la clasificación efectuada por la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED), el género *Zea* está incluido en la tribú *Maydeae*

(Acosta, 2009) y en general, solo la especie *Zea mays* se considera como una especie de gran importancia económica dentro de las *Maydeas* y su clasificación taxonómica está bien estudiada (Sánchez *et al.*, 2014).

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Gramineae (Poaceae)
Tribu	Maydeae
Género	Zea
Especie	Mays

2.4. Características descriptivas del maíz

La planta del maíz es una monocotiledónea anual de porte elevado, con un sistema radicular fibroso y un sistema caulinar con pocos macollos (Sánchez *et al.*, 2014).

Su sistema radicular presenta raíces primarias que son fibrosas y raíces adventicias que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo y tienen como función mantener la planta erecta y así evitar su caída (Kato *et al.*, 2009).

Es una planta monoica de flores unisexuales y bien diferenciadas en la misma planta. Al principio ambas inflorescencias presentan primordios de flores bisexuales pero, en ambos casos, los primordios de gineceos y estambres abortan y quedan solo las inflorescencias femeninas (mazorca, elote o choclo) y masculinas (espigas), respectivamente (Sánchez *et al.*, 2014).

La inflorescencia femenina puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca; todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas (totomoxtle). Los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno (Kato *et al.*, 2009).

En la mazorca, cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide, está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por

mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca (Kato *et al.*, 2009).

2.4.1. Etapas de desarrollo del maíz

Los términos etapas de crecimiento y etapas de desarrollo suelen confundirse, sin embargo, el crecimiento se refiere simplemente al aumento de tamaño que puede incrementarse por condiciones externas favorables, mientras que el desarrollo es la progresión de una etapa a otra (Endicott *et al.*, 2015)

La duración de las etapas fenológicas o de desarrollo del maíz (Cuadro 1) depende directamente de las variedades que se establezcan, ya que, algunas pueden ser de desarrollo precoz mientras otras pueden ser tardías para su desarrollo. Así mismo, los requerimientos del cultivo varían según el estado de desarrollo en que se encuentren las plantas (Villaseca *et al.*, 1987).

Cuadro 1. Etapas fenológicas del maíz.

Etapas vegetativas		Etapas reproductivas	
VE	Emergencia	R1	Aparición de los estigmas
V1	Primera hoja	R2	Inicio del crecimiento del grano
V2	Segunda hoja	R3	Grano lechoso
V3	Tercera hoja	R4	Grano pastoso
V(n)	Enésima hoja	R5	Grano dentado
VT	Aparición de las panojas	R6	Grano maduro

Fuente: *Endicott et al.*, 2015.

2.5. Distribución y adaptación

Se distribuye entre los 50° LN y los 40° LS, siendo una especie originaria de México y América central. Al ser uno de los granos más antiguos y con una amplia historia en su domesticación como cultivo, el maíz se adapta a una amplia variedad de condiciones climáticas encontrándose en regiones tropicales, subtropicales y templadas (Ruíz *et al.*, 2013).

2.6. Requerimientos agroecológicos del maíz

En altitudes mayores a los 3000 msnm los rendimientos disminuyen, pero se obtienen buenos rendimientos de los 0 a los 2500 metros de altitud. Su fotoperiodo es de día corto, aunque muchos cultivares se comportan indiferentes a la duración del día, en cuanto a la radiación, el cultivo de maíz requiere una alta insolación por lo que no es un cultivo apto para zonas con alta nubosidad (Ruíz *et al.*, 2013).

2.6.1. 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 los 10°C (Ruíz *et al.*, 2013).

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

2.6.2. Precipitación

De la siembra a la madurez la planta de maíz requiere de 500 a 800 mm y una atmósfera moderadamente húmeda, sin embargo, prefiere regiones donde la precipitación anual se encuentra entre los 700 y los 1100 mm (Ruíz *et al.*, 2013). Lo anterior podría depender del híbrido que se este utilizando y el rango podría parecer muy amplio, un ejemplo es el híbrido H 440 de INIFAP que fue evaluado en condiciones de temporal en los estados de Tamaulipas y Nuevo León, regiones que presentan en el ciclo primavera - verano precipitaciones de 190 a 340mm (Reyes *et al.*, 2007).

La falta de agua es el mayor factor limitante en la producción de maíz, ya que cuando se presenta estrés hídrico en las primeras etapas de desarrollo ocasiona pérdida de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional. Así mismo, un exceso de agua en etapas tempranas puede dañar el meristemo encontrado debajo de la superficie (Deras, 2011).

2.6.3. Radiación solar

La intensidad de luz que requiere se encuentra entre los 32.3 y 86.1 lux y la máxima eficiencia de uso de radiación solar se asume en 1.6 gMj^{-1} (Ruíz *et al.*, 2013).

2.6.4. Suelo

El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos si se emplean los cultivares adecuados, en general, los suelos más idóneos para el maíz son los francos, fértiles, bien drenados y profundos. Se desarrolla bien en rangos de pH entre 5.5 y 7.8, ya que fuera de estos límites tiende a disminuir la disponibilidad de algunos nutrientes (Deras, 2011).

2.7. Fisiología y metabolismo

El metabolismo del maíz es de tipo C4 lo que le otorga un mejor aprovechamiento hídrico, un eficiente uso de la energía lumínica y una mayor eficiencia de la fotosíntesis a altas temperaturas. Esto debido a que las plantas con este tipo de fotosíntesis presentan un ciclo adicional al ciclo de Calvin, llamado ciclo de los ácidos dicarboxílicos, que ubicado en las células de la vaina del haz vascular utiliza la enzima PEP carboxilasa (fosfenolpiruvato - carboxilasa) para fijar el CO_2 atmosférico sin fijar el oxígeno, formando un compuesto de cuatro carbonos para cederlo posteriormente al ciclo de Calvin y evitando así la fotorrespiración (Polaina *et al.*, 1982).

2.8. Híbridos de maíz

Una variedad mejorada se define como el conjunto de plantas con cierto nivel de uniformidad producto de la aplicación de alguna técnica de mejoramiento genético, tiene características bien definidas y generalmente tiene mayor rendimiento que las variedades que la antecedieron (Espinosa *et al.*, 2008). La hibridación es una técnica de mejoramiento genético en la que se aprovecha la heterosis (también llamada “vigor híbrido”), que es el fenómeno que ocurre al obtener un híbrido que supera las características de sus líneas progenitoras (Gaytan y Mayek, 2010).

Un híbrido resulta cuando una planta de maíz fecunda a otra que genéticamente no está emparentada con la primera. La semilla que proviene de esta cruce posee una

configuración genética única, resultado de ambos progenitores (MacRobert *et al.*, 2015).

En la agricultura este tipo de técnicas supone un aumento en el rendimiento y la calidad de las cosechas, Núñez (2001) señaló que entre híbridos existen diferencias en contenido de proteína, fibra y digestibilidad, así mismo, en sus evaluaciones encontró diferencias significativas entre los híbridos y variables como materia seca, porcentaje de mazorca, fibra detergente ácida y fibra detergente neutra.

Por lo general, los híbridos forrajeros son seleccionados arbitrariamente por su capacidad productora de materia seca y ha existido poco interés en su calidad nutritiva (Peña *et al.*, 2002), no obstante, la importancia de elevar las características físicas de la planta del maíz se apoya en la relación de las mismas en la calidad final del forraje, un ejemplo de ello se observa en los híbridos con altos contenidos de grano en los que el valor energético del ensilado de maíz es mayor y se puede decir que existe una correlación positiva entre el contenido de grano y la digestibilidad del forraje (Núñez *et al.*, 2003)

2.9. Características del maíz como planta forrajera

Vallentine (1990) definió forraje como aquel material de origen vegetal destinado al consumo de herbívoros que contiene más del 18% de fibra cruda en su materia seca. En las principales cuencas lecheras de México, el maíz (*Zea mays* L.) es el forraje más importante para la alimentación del ganado bovino productor de leche debido a su alto rendimiento y contenido de energía (González *et al.*, 2006)

Como forraje, el maíz tiene alta productividad, contenidos bajos de proteína y minerales y elevado valor energético, sin embargo, en México los ensilados de maíz tienen un valor de energía neta de lactancia de 1.3 Mcal por kilogramo lo que se traduce como bajo, lo anterior, puede atribuirse al énfasis dado al rendimiento por hectárea, sin considerar el valor nutritivo (Núñez *et al.*, 2003).

En el caso del maíz, la planta completa constituye un forraje de gran importancia que se destina para la producción lechera o cárnica. La actual demanda de estos productos requiere una respuesta animal óptima, lo que resulta ser un desafío para

los productores de maíz, que deben seleccionar y manejar híbridos de gran producción de materia seca con características de calidad apropiadas (López, 2014).

Se puede decir que cualquier variedad de maíz puede cultivarse para forraje, pero las que producen mayores rendimientos de biomasa son aquellas variedades de porte alto (Elizondo y Boschini, 2002).

El maíz para la producción de forraje ha mostrado excelentes características de palatabilidad, además es uno de los mejores cultivos para ensilar ya que reúne muy buenas condiciones de valor nutritivo, alto contenido en azúcares y alto rendimiento por unidad de área (Elizondo y Boschini, 2002).

La caída de la calidad del forraje que ocurre durante el envejecimiento de las hojas es un fenómeno común en todas las gramíneas forrajeras debido a procesos como la degradabilidad de la pared celular y la traslocación de compuestos solubles desde las hojas senescentes hacia aquellas en proceso de expansión o crecimiento (Agnusdei, 2007)

2.10. Producción y manejo de maíz con características forrajeras

Un manejo agronómico adecuado permitirá obtener el máximo potencial del genotipo que se esté utilizando. A pesar de ello la primera etapa para un manejo adecuado consiste en la elección de la semilla que pretenda utilizarse, en el caso de las variedades mejoradas estas deben ir acompañadas de un paquete tecnológico especificado por su generador. Un buen cultivo de maíz forrajero puede producir entre 60 y 80 toneladas de forraje verde por hectárea (Elizondo *et al.*, 2001).

La selección e hibridación de líneas de maíz, ha permitido elevar el potencial productivo y la calidad de los materiales, pero las prácticas de cultivo han logrado explotar al máximo las capacidades de estos genotipos (Guevara *et al.*, 2005). El genotipo a utilizarse deberá ser elegido con base a las condiciones climáticas de la región en donde se establecerá el cultivo.

El primer paso para asegurar el óptimo desarrollo del maíz es la preparación del terreno, que consiste en barbechar, rastrear, realizar trazos de riego y surcar (Jurado *et al.*, 2014) Estos pasos facilitarán las labores del cultivo posteriores además de permitir el óptimo desarrollo de la planta en la fase de emergencia.

La densidad de siembra es otro factor crucial para asegurar el máximo desarrollo del cultivo, el uso de las densidades altas y la adecuada distribución de plantas en el terreno se pueden traducir como un mejor uso del terreno y son técnicas usadas para incrementar el rendimiento de los cultivos por unidad de superficie. Sin embargo el uso de altas densidades de población puede reducir la calidad del forraje debido principalmente al menor contenido de grano, no obstante, existe una respuesta diferencial de acuerdo a los genotipos utilizados (Reta *et al.*, 2000; Olague *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2011).

Algunas investigaciones sobre la densidad de siembra indican que en híbridos de maíz de ciclo intermedio se pueden sembrar a 80 mil plantas por hectárea, aunque esto depende del ciclo de crecimiento y la disposición de las hojas que presenten los híbridos, ya que en algunos casos pueden llegar a sembrarse hasta 115 mil plantas por hectárea (Jurado *et al.*, 2014).

Siendo una gramínea, el maíz requiere cantidades importantes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como, calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en menor cantidad. Jurado (2014) recomienda que las aplicaciones de fertilizante se realicen de acuerdo a un análisis de suelo, sin embargo, también menciona una fertilización base que consiste en una dosis 160 - 80 - 00 de N, P y K respectivamente.

El control de malezas es un factor indispensable a cuidar durante el desarrollo del cultivo, ya que las arvenses compiten con el cultivo por dióxido de carbono (CO₂), agua, luz, nutrientes y espacio, además de servir como hospederas de plagas y enfermedades. Algunas investigaciones reflejan que el periodo crítico de competencia del maíz, es decir, el periodo en el en que el rendimiento puede ser afectado debido a las malezas es de 40 días (Blanco *et al.*, 2014).

Para establecer el tiempo de cosecha deben considerarse factores como el estado de madurez del grano, el contenido de humedad y la digestibilidad. Para que la calidad de ensilaje sea adecuada es necesario que el contenido de humedad de la planta sea de 65% para evitar pérdidas durante la cosecha y el proceso de ensilaje (Jurado *et al*, 2014). El momento de cosecha determina el rendimiento de forraje, en 2005 Núñez (*et al*) obtuvieron bajos rendimientos de materia seca en las cosechas realizadas en estado temprano de madurez y afectaciones en la digestibilidad del forraje al cosechar en un estado avanzado de madurez, estos resultados ocurrieron independientemente de los híbridos utilizados en la evaluación.

2.11. Ensilado del maíz

Cobos, define el ensilaje como un método de conservación de forrajes o subproductos agrícolas 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. En este método de conservación se inhibe el crecimiento de microorganismos degradadores de materia orgánica y el forraje que se ensila, experimenta una serie de transformaciones debido a la acción de las enzimas en la planta y de los microorganismos presentes en la superficie foliar, estas enzimas actúan en procesos respiratorios y descomponen glúcidos y proteínas (Mier, 2009).

Al proceso de ensilar se llama ensilaje, mientras que el producto obtenido es llamado ensilado y, silo se le llama a la instalación utilizada para conservar el forraje (Améndola, 2016). El ensilaje es la fermentación anaerobia de carbohidratos solubles presentes en forrajes para producir ácido láctico, este proceso permite almacenar alimento en tiempos de cosecha conservando calidad y palatabilidad, lo cual posibilita aumentar la carga animal por hectárea y sustituir o complementar concentrados (Garcés *et al.*, 2004).

El proceso de ensilaje consta de dos fases (una aeróbica y una anaeróbica), divididas en tres etapas: respiración, fermentación y estabilización (Améndola, 2016).

Una vez cortado e introducido al silo, el forraje, comienza la fase aeróbica y dura sólo unas horas. Como el forraje sigue vivo continúa respirando, aprovechando el poco oxígeno y consumiendo energía, este proceso produce calor y dióxido de carbono (CO₂) favoreciendo condiciones anaeróbicas, en este momento termina la fase aeróbica que no deberá durar más de cinco horas y dependerá del tapado y sellado del silo (Jímenez *et al.*, 2008; Améndola, 2016), es una fase crítica pues la presencia de levaduras fermentan rápidamente los azúcares produciendo etanol, compuesto que tiene afectaciones en la producción lechera (Garcés *et al.*, 2004).

La segunda etapa (fermentación), comienza una vez que las condiciones en el silo son anaeróbicas. Las bacterias que producen ácido láctico comienzan a actuar, convirtiendo los carbohidratos no estructurales del forraje en ácido láctico, en esta etapa el pH se reduce hasta alcanzar niveles de 3.8 - 4 y la temperatura puede elevarse por encima de los 50°C. Una vez ocurrida la acidificación se detiene toda actividad microbológica llegando a la etapa de estabilización del ensilado a los 21 días aproximadamente (Garcés *et al.*, 2004; Améndola, 2016).

La calidad de los forrajes ensilados depende tanto de la técnica de ensilaje como del forraje introducido en el silo, sin embargo, existen algunas condiciones para que el ensilado sea bueno, independientemente de la cantidad. Para un buen ensilaje se deben aplicar los siguientes principios (Ojeda, 1999; Arellano *et al.*, 2015):

- 1) Cosechar durante la etapa masosa lechosa del grano, es cuándo alcanza un alto valor nutritivo.
- 2) El forraje no debe estar contaminado con suelo.
- 3) Deberá tritarse el forraje a fin de obtener trozos de 2 a 4 cm para facilitar la compactación y reducir la cantidad de aire retenido en el forraje.
- 4) Colocar capas sucesivas de 40 a 50 cm y expulsar al máximo el aire del interior de las capas.
- 5) Sellar perfectamente el silo para evitar penetración de aire, practica que debe realizarse en el tiempo mas breve posible.

- 6) Durante el uso del ensilado para alimentar a los animales, el área expuesta debe ser reducida y la operación debe realizarse de manera rápida para impedir la entrada de aire.

El principio nutritivo consiste en que la flora bacteriana que realiza los procesos fermentativos del ensilado utiliza los azúcares solubles, pero no el almidón (CIATA, 1998; Reta, 2007).

El estado de madurez de la planta a la cosecha (o etapa de corte) es el principal factor que afecta el valor nutritivo y las características de fermentación del ensilaje de maíz (González *et al.*, 2006). Cosechar el maíz en estado lechoso del grano indica que el maíz tiene un porcentaje de 23 a 25% de materia seca (MS), lo que conduce a una menor calidad y palatabilidad en el producto final, es por esto que el punto óptimo de cosecha es cuando la planta alcanza de 30 a 32% de MS (Améndola, 2016).

Otro factor que puede afectar la calidad del forraje son las condiciones ambientales, Villa (2008), menciona que las altas temperaturas estimulan el incremento en la lignificación de la pared celular de las plantas acelerando la actividad metabólica que reducirá la cantidad de metabolitos en el contenido celular, estos metabolitos pueden ser nitratos, proteínas y carbohidratos solubles. Hay que tomar en cuenta que el aporte energético del ensilado dependerá de la digestibilidad de la pared celular (fibra) y el contenido de grano al momento de ensilarlo, por otro lado los granos se caracterizan por aportar energía (almidón) y su mayoría utilizada en el rumen (Abdelhadi, 2007).

2.12. Digestión en rumiantes

Los mamíferos que se clasifican como rumiantes tienen ciertas características de morfología y fisiología digestivas que los diferencian. Estas diferencias se encuentran en la porción anterior del tubo digestivo, donde se encuentran los órganos responsables de la degradación de los alimentos a partir del abomaso y el proventrículo (Shimada, 2003). Esta característica confiere a los rumiantes la posibilidad de degradar los hidratos de carbono estructurales del forraje, como la

celulosa, la hemicelulosa y la pectina que son poco digeribles para animales de estómago simple (Relling y Mattioli, 2002).

El estómago de los rumiantes (Figura 1) se encuentra dividido en cuatro partes que algunos autores manejan como cuatro estómagos (McDonald et al., 2011). Llevan a cabo procesos fermentativos y enzimáticos para la degradación del alimento existiendo una simbiosis entre estas bacterias y el animal (Relling y Mattioli, 2002; INTA, 2014).

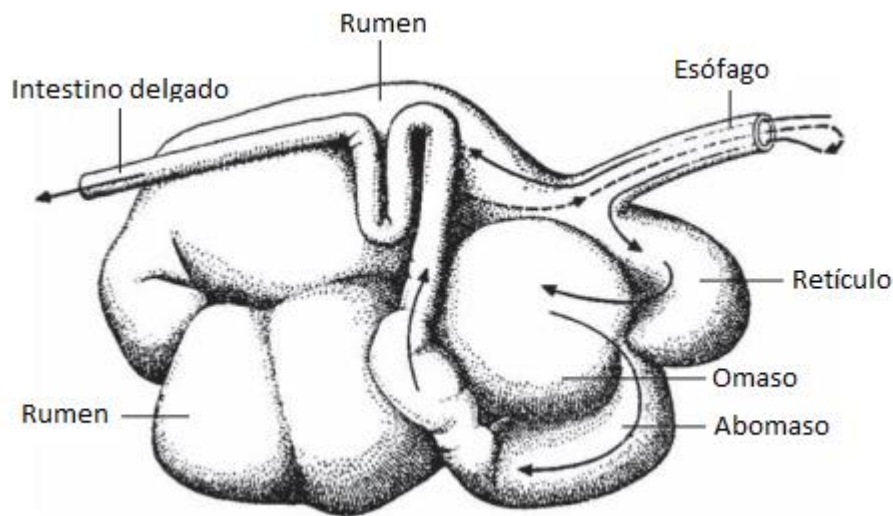


Figura 1. Diagrama representativo del rumen, retículo, omaso y abomaso indicando el flujo de la digestión.

La primera parte de la digestión comienza por la boca, cuya función principal es la masticación, salivación y deglución del alimento que ingiere el animal, posteriormente el alimento entra por el esófago llegando a dos órganos en concreto, el rumen y el retículo, que a pesar de ser órganos diferentes actúan como una unidad (Shimada, 2003).

El rumen es un gran contenedor de fermentación que en una vaca puede contener de 100 a 120 kg de material de digestión y además contiene una compleja población de bacterias, protozoos, hongos y levaduras en donde el alimento puede permanecer de 20 a 48 horas degradándose. El retículo, por su parte, es un órgano cuyos pliegues están dispuestos en forma de red, está en contacto directo con el

diafragma y se comunica con el rumen a través del pliegue retículo - ruminal, su función es seleccionar las partículas de alimento a partir de su tamaño y densidad para dejarlas pasar hacia el omaso, también llamado tercer estómago (Relling, 2002; INTA, 2014).

El omaso es un órgano esférico en el que se deposita el material semi - líquido proveniente del retículo. Su función principal es extraer los líquidos de la ingesta, los ácidos grasos volátiles y los electrolitos inorgánicos y conducirlos hacia el abomaso. Este órgano tiene una alta capacidad de absorción de líquidos y permite el reciclado de agua y minerales, tales como sodio y fósforo utilizándolos para la producción de saliva (Shimada, 2003; INTA, 2014).

La última parte del estómago del rumiante es el abomaso, también llamado estómago verdadero, ya que es muy similar al estómago de los animales monogástricos. Su función es secretar ácido clorhídrico y pepsina, sustancias que inician la degradación de las proteínas y los productos de la digestión son absorbidos (McDonald *et al.*, 2011).

Una vez terminado el tránsito por las cuatro partes del estómago, el bolo alimenticio ingresa al intestino delgado en donde se realiza un flujo constante hacia el intestino grueso en donde se producen y absorben los ácidos grasos volátiles y a partir de movimientos peristálticos y antiperistálticos los componentes del alimento no digerido son excretados (Shimada, 2003; McDonald *et al.*, 2011).

2.13. Características nutricionales del maíz como forraje

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

Por definición, el valor nutritivo del forraje es el resultado de tres factores: su consumo por el animal, la digestibilidad y la eficiencia con que el animal lo utiliza (Soto, 1982).

Améndola (2016), establece algunos parámetros de rendimiento y calidad nutricional en poblaciones de maíz destinadas para producir forraje (cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento y composición de maíz forrajero.

Parámetro	Mínimo	Máximo	Media
Rendimiento medio (tonMS ha ⁻¹)	11.6	25.2	16.0
Mazorca (%)	33.0	47.0	42.4
Proteína cruda	6.1	9.0	7.8
Fibra detergente neutra (%FDN)	37.2	51.9	45.3
Fibra detergente ácida (%FDA)	23.0	28.0	25.4
Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	59.0	81.8	72.4

Améndola, 2016

Un buen cultivo de maíz forrajero puede producir entre 60 y 80 toneladas de forraje fresco por hectárea (González *et al.*, 2006; Elizondo, 2015)

Se ha determinado que el máximo rendimiento de materia seca, mayor digestibilidad y menor contenido de fibra se obtiene cuando se cosecha a 1/2 o a 1/3 de avance en la línea de leche (Figura 2), debido principalmente a que incrementa la proporción de grano (González *et al.*, 2006).



Figura 2. Progresión de la línea de la leche en granos de maíz (Endicott *et al.*, 2015)

Un maíz de alta calidad forrajera es considerado aquel que presenta valores de fibra detergente ácida de 25 a 32%, de fibra detergente neutra de 40 a 52% y de un total de nutrientes digeribles superiores al 65% (Olague *et al.*, 2006)

En un grano maduro, el 83% del peso total corresponde al endospermo, mientras que un 11% corresponde al germen y un 6% al pericarpio. Del endospermo el 50%

es córneo, es decir, más denso y con mayor contenido de proteína que el resto. Esta elevada proporción de endospermo córneo es la causa principal de que el maíz resulte poco fermentable por los microorganismos del rumen (FEDNA, 2016).

2.14. Materia seca

Un principio básico en la nutrición animal es cuantificar el consumo de materia seca para determinar la ingestión de nutrientes. 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. El agua en los alimentos se puede encontrar como partículas coloidales en las paredes y constituyentes celulares, así como en forma de agua de hidratación combinada con carbohidratos, polisacáridos y algunas sales (De la Roza *et al.*, 2002; Elizondo, 2015)

En el ensilado del maíz lo recomendable es cosechar el maíz cuando la materia seca se encuentre entre un 30 y un 32%, punto que coincide con que el grano se encuentra a 1/3 de la línea de la leche (Améndola, 2016). Los diferentes estados de madurez a la cosecha son condicionantes para la calidad del ensilado ya que porcentaje de materia seca conduce a tener diferente valor nutritivo (Lanuza, 1981)

Un porcentaje de materia seca mayor a 33% disminuye la estabilidad aeróbica del ensilaje una vez que este se abre, y además, como el grano se encuentra en un estado de mayor madurez tiende a perderse durante las evacuación del intestino (hasta un 3%) debido a que el almidón de granos duros no es digerido en el rumen (Klein, 1994).

Por otra parte, un cultivo que está inmaduro a la cosecha presenta un alto contenido de carbohidratos solubles y un bajo porcentaje de materia seca, este exceso de humedad conduce a la pérdida de los azúcares cuatro veces mayor que cuando se cosecha en un estado con mayor madurez (Lanuza, 1981).

2.15. Proteína cruda

Las proteínas son compuestos nitrogenados fundamentales en los tejidos animales, en proporción representan del 10 - 20% del peso vivo del animal (Martínez, 2002).

Se clasifican como compuestos orgánicos complejos de alto peso molecular, además de contener carbono, hidrógeno y oxígeno contienen nitrógeno y generalmente azufre (McDonald *et al.*, 2011).

Su importancia reside en sus múltiples funciones, ya que forman parte de los tejidos de sostén animal; actúan como enzimas en el metabolismo y algunas forman parte de hormonas y anticuerpos. Desde un punto de vista práctico, el rumiante puede aprovechar la proteína de los alimentos y algunas fuentes de nitrógeno no proteínico como la urea (Garriz y López, 2002).

La proteína constituye una parte importante de todos los órganos y tejidos en el ganado. puesto que una gran proporción del organismo es proteína, se necesita una cantidad sustancial en la dieta. Salvo las necesidades energéticas, de fibra y agua, las necesidades proteicas del ganado vacuno son superiores a la suma de los demás nutrientes (Shimada, 2003).

En general, las proteínas contienen aproximadamente 16% de nitrógeno dentro de su fórmula. La naturaleza de la proteína y su tránsito puede afectar la cantidad de proteína digerida y absorbida en el rumen y la cantidad de proteína que pasa a través del rumen para digestión y absorción en el intestino delgado (Church y Pond, 2006)

A diferencia de las especies monogástricas, los rumiantes no dependen tanto de la calidad de proteína ingerida, esto se debe a la actividad microbiana encontrada en el rumen puede sintetizar sus propias proteínas a partir de la proteína de baja calidad ingerida (Garriz y López, 2002; Van Lier y Regueiro, 2008).

El proceso de utilización de proteínas comienza en el rumen donde las proteínas se degradan hasta obtener péptidos y proteasas, obteniendo como producto final, amoníaco, ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono. El amoníaco generado es utilizado por los microorganismos para la síntesis de proteínas y componentes nitrogenados de la pared celular y ácidos nucleicos. Estos microorganismos del rumen pasan a través del omaso y abomaso hasta el intestino delgado en dónde ocurre la absorción del contenido proteico por el animal (Garriz y López, 2002).

2.16. Digestibilidad

La digestibilidad se define como el porcentaje de un nutrimento dado que se digiere (desaparece) en su paso por el tubo gastrointestinal (Shimada, 2003). En otras palabras, es la diferencia entre el alimento consumido, que es absorbido en el tubo digestivo, y el material excretado en las heces por los animales y se expresa como porcentaje del alimento consumido. Por otra parte, la indigestibilidad se refiere a la porción remanente que sale a través del ano (Horrocks y Vallentine, 1999).

La digestibilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el tracto digestivo o en un procedimiento de laboratorio debido a la solubilización ocasionada por los microorganismos anaerobios ruminales, la digestibilidad permite estimar la proporción de nutrientes presentes en el alimento. (Araiza *et al.*, 2013)

Es importante conocer la digestibilidad de un alimento para establecer si cubre los requerimientos alimenticios del animal. Un alimento con alta 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 pasaje 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).

2.16.1. Factores del vegetal que influyen en la digestibilidad

Según el método de Van Soest, las plantas están constituidas por diferentes fracciones variando su digestibilidad de acuerdo a la proporción que tengan cada una de ellas (AOAC, 2012).

El contenido celular es prácticamente digestible en su totalidad, la fibra detergente neutra está constituida por hemicelulosa, celulosa, lignina y silicio, este tipo de fibra es parcialmente digerible (la celulosa y hemicelulosa), la fibra detergente ácida está constituida por celulosa, lignina y silicio en donde solo la celulosa es digerible para los rumiantes. La lignina detergente ácido es indigerible. En la Figura 3 se observan los diferentes componentes de las plantas.

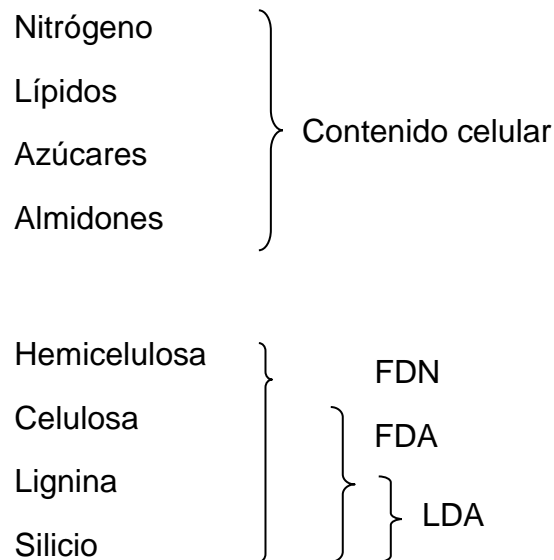


Figura 3. Componentes de las fracciones que constituyen el método de fracciones de fibra

La digestibilidad varía por factores propios de los alimentos, los animales que los consumen o por ambos. En general, la digestibilidad de los granos de cereales y otras fuentes de azúcares o almidones es mayor para todas las especies de animales de granja; posiblemente los granos menos digestibles son la avena y la cebada, por su elevada porción fibrosa (McDonald *et al.*, 2011).

Peña (2002) menciona que hay una amplia variabilidad genética en la digestibilidad del grano, tallo, y hojas, así como la cantidad de fibra detergente neutra, también determina que la variabilidad genética es mayor en la parte vegetativa que en el grano, sin embargo, también hay ejemplos en los cuales no se ha encontrado variación genética para la digestibilidad del grano, ni para la planta total, pero sí diferencias importantes en la producción de materia seca total y de follaje. También señala, que una proporción de mazorca superior al 54% asegura una digestibilidad *in vitro* mayor al 68%.

El momento oportuno de cosecha de una planta forrajera tiene una estrecha relación con su calidad. En general, conforme una planta madura disminuye su calidad, lo cual es resultado de la disminución de su contenido de proteína y azúcares y del

aumento de fibra (principalmente celulosa y lignina), lo que lleva consigo un decremento gradual en la digestibilidad (Shimada, 2003).

En un experimento realizado en maíz para ensilaje (Núñez *et al.*, 2005) encontraron que la digestibilidad *in vitro* fue mayor con 1/4 y 1/3 de avance de la línea de leche en el grano. La cosecha en este estado de madurez permite mayor digestibilidad *in vitro*, y un porcentaje de materia seca adecuado para una buena fermentación.

2.17. Fibra

En nutrición animal, la fibra es un término indefinido, en resumen, es un agregado de compuestos, más no es una entidad química definida. Los nutricionistas de rumiantes no se han puesto de acuerdo en su definición y comúnmente la describen como:

- a) La fracción menos digestible de los alimentos,
- b) El componente estructural de la pared celular de las plantas,
- c) La porción del alimento digerida principalmente en el rumen y
- d) La fracción del alimento que promueve la salivación y la rumia.

Desde el punto de vista de la fisiología de la nutrición, la fibra es la porción del alimento que:

- a) Limita la digestión,
- b) Requiere ser masticada para la reducción del tamaño de partícula y
- c) Ocupa espacio en el rumen (Cruz y Sánchez, 2000)

La fibra o pared celular está constituida por celulosa, hemicelulosa, pectina, lignina, nitrógeno lignificado, cutina y una fracción de minerales insolubles formada especialmente por sílica.

La vaca puede obtener aproximadamente el 70% de su energía de los ácidos grasos volátiles producidos en el rumen por la digestión de la fibra. Una vez que se absorben, los ácidos grasos volátiles proveen la energía para el mantenimiento, crecimiento de músculos, producción de leche y reproducción. Además, proveen la

energía para la síntesis de proteínas de la leche y los precursores de la lactosa y las grasas en la leche.

2.18. Fibra detergente neutra

La fibra detergente neutra, es definida como una entidad que representa la fracción indigestible o de lenta digestión. Para la determinación de fibra detergente neutra se utiliza una solución detergente a un pH neutro y α - amilasa termoestable que disolverán las proteínas de fácil digestión, lípidos, azúcares, almidones y pectinas en los alimentos, dejando un residuo fibroso que se compone principalmente de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina) y materia nitrogenada no digerible. La determinación de fibra detergente neutra se realiza a través de un método gravimétrico, y es la mejor forma de estimar las fibras insolubles totales y es inversamente proporcional a la digestibilidad y potencial de ingesta en un alimento. (AOAC, 2012)

La celulosa y la hemicelulosa sólo son digeridas por procesos de fermentación microbiana donde las enzimas producidas son capaces de romper los carbohidratos complejos de la pared en moléculas más pequeñas, las cuales son disponibles para el animal primero como glucosa y luego como ácidos grasos volátiles, aportando la mayor parte de la energía que requiere un rumiante. De las diferentes formas de expresar las fracciones de los alimentos y forrajes, el contenido de fibra se asocia con la capacidad de consumo de materia seca (Cruz y Sánchez, 2000).

La mayor parte de la fibra detergente neutra en la dieta debe provenir de los forrajes, los cuales deben poseer un tamaño de partícula adecuado (3-5 cm) para mantener la función ruminal. Así, una ración con un nivel de fibra detergente neutra por debajo de 26 a 28% para la alimentación del ganado lechero de alta producción, o una ración que contenga fibra con un tamaño de partícula demasiado reducido, pueden causar los problemas metabólicos y de producción. (Cruz y Sánchez, 2000)

2.19. Fibra detergente ácida

La fibra detergente ácida se compone celulosa y lignina resultante de una digestión con una solución detergente ácida y ácido sulfúrico H_2SO_4 a una concentración 1N. (FEDNA, s.f.)

El contenido de fibra detergente ácida se utiliza para determinar el contenido de energía de en los forrajes y alimentos fibrosos, esto debido a que la fibra detergente ácida se relaciona negativamente con la digestibilidad de los alimentos debido a que sus contenidos de lignina y sílica inhiben la acción de los microorganismos ruminales (Cruz y Sánchez, 2000).

De los componentes de la fibra detergente ácida, la lignina, se asocia con una depresión en la digestibilidad de la materia seca. El primer factor es el efecto tóxico que los compuestos polifenólicos ejercen sobre los microorganismos ruminales, el segundo factor es la acción hidrofóbica de la lignina que limita el contacto del agua con los sustratos del rumen, que contienen celulasas y hemicelulasas (Cruz y Sánchez, 2000).

III. Materiales y métodos

3.1. Localización del experimento

La investigación se realizó en el ciclo primavera verano de 2016, la cual consistió en el establecimiento de dos experimentos, uno en el Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES Cuautitlán), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, entre los 19°41' LN y 99° 11' LO a una altitud de 2274 metros. El otro experimento se estableció en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Santa Lucía de Prías Coatlinchán, en el municipio Texcoco a una LN de 19° 27' y a 98° 51' de LO con una altitud de 2240m. Ambas localidades pertenecientes al Estado de México.

El clima que presenta la FES Cuautitlán se clasifica como: C (w₀) (w) b (i '), que corresponde al más seco de los templados subhúmedos (García, 1998), con un régimen de lluvias en verano e invierno seco (menos del 5% de la precipitación anual) y verano largo.

Por otra parte, el clima que se presenta en CEVAMEX, es una transición entre el clima seco [BS1 kw (w) (i ')] y el templado [C (w₀) (w) b (i ') g] que, de acuerdo con García (1998), corresponde al subtipo más seco, dentro de los climas templados subhúmedos; presenta un régimen de lluvias de verano, con una precipitación media anual de 640 mm, distribuidos, principalmente en los meses de mayo a octubre y una temperatura media anual de 18°C.

3.2. Material genético

Para la presente investigación se evaluaron nueve híbridos androestériles, de los cuales, cuatro corresponden a híbridos registrados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Pecuarias (INIFAP) que son: H 47 AE, H 49 AE, H 51 AE y H 53 AE, tres fueron desarrollados en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) denominados: TLAOLI PUMA, TSIRI PUMA Y ATZIRI PUMA, e híbridos experimentales: H 61 R y CSE FESC1.

De los nueve híbridos evaluados en la presente investigación siete se encuentran inscritos en el Catalogo Nacional De Variedades Vegetales (CNVV) y todos tienen la característica de ser híbridos trilineales, y están adaptados a las condiciones de los Valles Altos y de ser de grano blanco (SNICS, 2017).

3.3. Diseño experimental

La evaluación de los nueve híbridos se llevó a cabo utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar que consideró nueve híbridos con tres repeticiones. Este diseño experimental se utilizó para establecer tres ensayos uniformes en dos localidades, la información de los tres experimentos se analizó en un arreglo factorial que consideró como factores: los ambientes (tres) y los genotipos (nueve híbridos), así como la interacción ambientes x híbridos. En total se manejaron 81 unidades experimentales. Los tres ambientes correspondieron a una fecha en FES Cuautitlán y dos en CEVAMEX.

Para el análisis se consideraron tres factores: las fechas de cosecha los híbridos evaluados y la interacción entre los híbridos y las fechas de cosecha. Cada parcela experimental correspondió a un surco de cinco metros de largo con una distancia entre surcos de 0.8 metros, obteniéndose una parcela útil de 4 m².

3.4. Establecimiento del experimento y manejo agronómico

El experimento se estableció en el ciclo primavera - verano del 2016. La siembra fue realizada el 6 de junio del 2016 en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y el 25 de mayo de 2016 en el CEVAMEX.

El suelo se preparó de forma convencional con base a una labor de aradura, posteriormente, se realizaron dos pasos de rastra, el surcado y fertilización, aplicando una dosis de 80 - 60 - 00 (N-P-K) con base a urea y fosfato de amonio.

La siembra se realizó a tapa pie depositando tres semillas por mata, cada 50 centímetros de forma manual para todos los tratamientos. Al siguiente día se realizó un rodado y a los diez días posteriores el segundo riego para asegurar la germinación de la semilla.

El control de malezas se llevó a cabo 15 días después del riego, para lo que se utilizó una mezcla de 1 L de Hierbamina (2 - 4 D amina), 3 kg de Gesaprim 90 (Atrazina) y 1 L de Sansón 4 SC (Nicosulfurón) por hectárea. Una vez que las plantas tenían de 30 a 40 días de haber emergido se realizó el aclareo y se obtuvo una densidad de población de 80,000 plantas ha⁻¹

3.5. Cosecha

Las cosechas se llevaron a cabo el día 9 de octubre del 2016 en la FES Cuautitlán, una primera cosecha en CEVAMEX el 5 de octubre de 2016 y una segunda en la misma localidad el día 19 de octubre. Obteniendo tres tiempos diferentes de desarrollo de la planta 125, 133 y 147 días respectivamente (Cuadro 3) en dos localidades.

Cuadro 3. Fechas de siembra, cosecha y días de desarrollo del experimento

Ambiente	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Días de desarrollo
FES Cuautitlán	6 - junio - 2016	9 - octubre - 2016	125
CEVAMEX 1	25 - mayo - 2016	5 - octubre - 2016	133
CEVAMEX 2	25 - mayo - 2016	19 - octubre - 2016	147

3.6. Variables evaluadas

3.6.1. Rendimiento en materia verde

Se determinó el rendimiento de materia verde por hectárea a partir de la cosecha de todas las plantas del surco perteneciente a cada unidad experimental. El corte se realizó a una altura de 7 a 10 cm con respecto al suelo, acto seguido se determinó el peso fresco por planta. El cálculo de rendimiento de materia verde se obtuvo por medio de la fórmula siguiente:

$$RMV = \frac{(10'000m^2)(PF)}{4m^2} \div 1000$$

Dónde:

RMV= Rendimiento de materia verde (ton ha⁻¹)

PF= Peso fresco de las plantas cosechadas en la parcela experimental (kg)

4m²= Superficie de parcela útil.

3.6.2. Rendimiento de materia seca

El rendimiento de materia seca se calculó a partir del rendimiento de materia verde y del porcentaje de materia seca utilizando la siguiente formula.

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

Dónde:

RMS= Rendimiento de materia seca (ton ha⁻¹)

RMV= Rendimiento de materia verde (ton ha⁻¹)

%MS= Porcentaje de materia seca

3.6.3. Porcentaje de materia seca

Del total de plantas cosechadas por unidad experimental para la determinación del rendimiento de materia verde, se tomaron 10 plantas al azar que fueron picadas en trozos de 3 a 5 cm y mezcladas manualmente para construir una muestra homogénea. De esta muestra se tomó 1 kg que fue colocado en una bolsa de papel identificada con el número de experimento y su peso inicial, formando así una submuestra representativa.

Las submuestras fueron sometidas a una temperatura de 55 °C en una estufa de aire forzado por 48 horas hasta alcanzar un peso constante para ser pesadas por segunda vez obteniendo el porcentaje de materia seca a partir de la siguiente ecuación:

$$\%MS = \frac{PSm}{PFm} \times 100$$

Dónde:

%MS= Porcentaje de materia seca

PSm= Peso seco de la muestra (kg)

PFm= Peso fresco de la muestra (kg)

3.6.4. Altura de planta

Se seleccionaron 5 plantas al azar en cada unidad experimental, registrando en centímetros, la distancia existente entre la base de la planta hasta la panoja (punto donde empieza a dividirse la espiga).

3.6.5. Altura de la mazorca

En las mismas plantas elegidas para medir la altura, se registró la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta el nudo con la mazorca más alta.

3.6.6. Floración masculina

Para esta variable se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta la aparición del 50% de espigas por parcela experimental.

3.6.7. Floración femenina

De la misma manera que con la floración masculina se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta la aparición de estigmas con una longitud de 2 a 3cm en el 50% de las plantas de cada unidad experimental.

3.6.8. Porcentaje de mazorca

De cada parcela experimental se eligieron al azar 5 plantas a las cuales se les extrajo la mazorca y se secó en una estufa de aire forzado a una temperatura de 55°C hasta alcanzar un peso constante, con esto se determinó el peso promedio de las mazorcas con el cual se calculó el porcentaje de mazorca por medio de la siguiente ecuación:

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

Dónde:

%Mca= Porcentaje de mazorca

PSPM= Peso seco promedio de las mazorcas

PSPP= Peso seco promedio por planta

3.6.9. Porcentaje de proteína

La muestra utilizada para la determinación de materia seca, después de ser secada y pesada, fue procesada con un molino Wiley con una malla de 1mm. La muestra molida que se obtuvo fue utilizada para todas las determinaciones analíticas en laboratorio.

Se determinó el contenido de proteína a partir del procedimiento Micro Kjeldahl, cuyo principio 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) $_2$ SO_4 . (AOAC , 2012)

Una vez digerida la muestra se somete a un proceso de destilación en donde se adiciona una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 40% generándose amoníaco (NH_3) y vapor de agua. El amoníaco, es capturado en una solución de ácido bórico (H_3BO_3) al 4% con solución indicadora y a partir de una volumetría ácido - base se determina la cantidad total de nitrógeno existente en la muestra. (Miller y Houghton, 1945).

Procedimiento para determinar proteína

El procedimiento utilizado para la determinación de proteína se realizó de la siguiente manera:

1. Fueron pesados 0.3 g de cada muestra y 0.5 g de catalizador, para después ser introducidos a los matraces Kjeldahl.
2. Se agregaron 3 ml de H_2SO_4 concentrado y se colocó en el digestor hasta que adquirió un color azul verdoso, indicativo de que se digirió toda la materia orgánica.

3. Posteriormente se transfirió el contenido al destilador junto con una solución de NaOH al 40% mientras que en el extremo del condensador se colocó una solución de H₃BO₃ al 4%.
4. Una vez obtenido el NH₃, se realizó una titulación con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N.

El porcentaje de nitrógeno se determinó con la siguiente ecuación:

$$\%N = \frac{(\text{ml HCl})(N\text{HCl})(1.4)}{W}$$

Dónde:

%N= Porcentaje de nitrógeno

ml HCL= Mililitros de ácido clorhídrico gastados

N HCl= Normalidad del ácido clorhídrico

W= Peso de la muestra en gramos

1.4= Factor de ajuste para nitrógeno.

En donde la proteína cruda se determinó de la manera siguiente:

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

Dónde:

%P= Porcentaje de proteína

%N= Porcentaje de nitrógeno obtenido por el método Kjeldahl

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

3.6.10. Digestibilidad *In Vitro*

El análisis de digestibilidad in vitro fue realizado por el método de Tilley y Terry adaptado por Corsby (*et al.*), que utiliza como reactivo principal la saliva de Mc Dougall. Para esta determinación las muestras se incubaron con los microorganismos del rumen en un medio nutritivo simulando de esta manera la degradación de un alimento en el tracto digestivo de un rumiante. (Crosby *et al.*,sf)

Procedimiento para calcular el porcentaje de digestibilidad

1. Se pesaron 0.3 g de muestra dentro de tubos de ensayo.
2. Se adicionaron 50 ml de saliva de Mc Dougall a cada tubo de ensayo.
3. Posteriormente se agregaron 10 ml de líquido ruminal y se agregó dióxido de carbono (CO₂) durante 15 segundos.
4. Entre las muestras se incluyeron dos blancos, que consistieron en tubos de ensayo a los que se les agregó saliva de McDougall y el líquido ruminal pero no se les agregó muestra de forraje.
5. Se taparon los tubos de ensayo y se colocaron durante 48 horas en baño maría, a una temperatura de 39 °C, se agitaron a las 2, 4 y 28 horas.
6. Pasadas las 48 horas de digestión se adicionaron 6 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y 2 ml de solución de pepsina al 5% agitando 3 veces al día durante otras 48 horas.
7. Las muestras fueron filtradas por medio de una bomba de vacío y puestas a secar a 55 °C por 48 horas.
8. Se pesaron las muestras secas.

El porcentaje de digestibilidad se determinó a partir de la siguiente formula:

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

Dónde:

%DMS= Porcentaje de digestibilidad de materia seca

MSI= Materia seca inicial

MSR= Materia seca residual

MS BCO= Materia seca del blanco

3.6.11. Porcentaje de Fibra Detergente Neutra y Fibra Detergente Ácida

Para esta determinación fue utilizado el método secuencial de análisis para fibra detergente neutra y fibra detergente ácida con equipos ANKOM²⁰⁰⁰, esta es una adaptación de la metodología de Van Soest, en la que ambos análisis se realizan

por separado. En el método secuencial, la muestra se digiere primero en una solución detergente neutro y α - amilasa termoestable calculando el porcentaje de fibra detergente neutra y después, la misma muestra, es tratada en una solución detergente ácido con H_2SO_4 al 1N calculando el porcentaje de fibra detergente ácido.

Procedimiento secuencial para determinación de fibra detergente neutra y fibra detergente ácida.

1. Se marcaron las bolsas filtro utilizadas en el análisis para tener un reconocimiento de las muestras.
2. Una vez marcadas se pesaron las bolsas vacías en una balanza analítica.
3. Posteriormente se agregaron 0.5 g de la muestra y se sellaron.
4. Para cada corrida fueron incluidos 3 controles y un blanco.
5. Se colocaron las muestras en el vaso digestor del equipo ANKOM²⁰⁰⁰.
6. Las soluciones de detergente neutro y α - amilasa se conectaron al equipo.
7. Se programó el equipo para realizar la digestión con detergente neutro.
8. Al terminar la digestión las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 105°C hasta alcanzar el peso constante y se pesaron nuevamente calculando la fracción de fibra detergente neutro de cada muestra.
9. Se repitió el procedimiento con la solución de detergente ácido.
10. Las muestras se secaron nuevamente a una temperatura de 105°C y se pesaron, calculando así la fracción de fibra detergente ácida.

Las fórmulas utilizadas para determinar el porcentaje de FDN y FDA fueron las siguientes:

$$1. \%FDN = \frac{W3 - (W1 \times C1)}{W2} \times 100$$

$$2. \%FDA = \frac{W4 - (W1 \times C2)}{W2} \times 100$$

Donde:

%FDN= Porcentaje de fibra detergente neutra

%FDA= Porcentaje de fibra detergente ácida

W1 = Peso Bolsa vacía

W2 = Peso de la muestra

W3 = Bolsa y residuo después de la digestión FDN

W4 = Bolsa y residuo después de la digestión FDA

C1 = Factor de corrección de la bolsa

$$\frac{\text{Peso de la bolsa blanco después de la digestión FDN}}{\text{Peso inicial de la bolsa blanco}}$$

C2 = Factor de corrección de la bolsa

$$\frac{\text{Peso de la bolsa blanco después de la digestión FDA}}{\text{Peso inicial de la bolsa blanco}}$$

3.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos del experimento de analizaron con los procedimientos Mixed y GLM del programa Statistical Analysis Software (SAS) para la versión Windows 8 (SAS Institute, 2001). La prueba de comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey con 0.05 de significancia para cada una de las variables evaluadas.

3.8. Tipos de suelo

En las dos localidades dónde se establecieron los experimentos presentan diferencias en las características de sus suelos.

En la FES Cuautitlán se encuentran suelos de tipo son 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 por el temporal. En esta localidad el pH oscila entre 6 y 7.

Mientras tanto, en CEVAMEX, los suelos predominantes son los cambisoles que presentan una 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.

3.9. Datos climáticos

En las dos localidades, el cultivo de desarrolló durante el periodo húmedo del año (de mayo a octubre). En estos meses no se presentaron heladas y los experimentos aprovecharon las mayores precipitaciones durante las primeras etapas del cultivo.

Las estaciones de crecimiento para ambas localidades se obtuvieron a través del programa computacional New LocClim desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2006. Este programa se basa en las normales climatológicas presentadas por región y realiza una estimación de la evapotranspiración y la precipitación.

En la figura 4 se muestra la estación de crecimiento para la localidad de FES Cuautitlán, en la cual se observa el inicio del periodo húmedo el 18 de mayo y el término del mismo el 17 de octubre, con una duración de 153 días. De la misma manera, el periodo de máxima precipitación (cuando la precipitación supera a la evapotranspiración) en el periodo del 9 de junio al 27 de septiembre con una duración de 111 días. La temperatura media presentada en el periodo de establecimiento del cultivo fue de 16.7 °C con una mínima de 11.8 °C y una máxima de 23.7 °C. En cuanto a la precipitación, en el periodo húmedo se registran 3.6 mm al día mientras que en el periodo de máxima precipitación se registran hasta 4.1 mm por día.

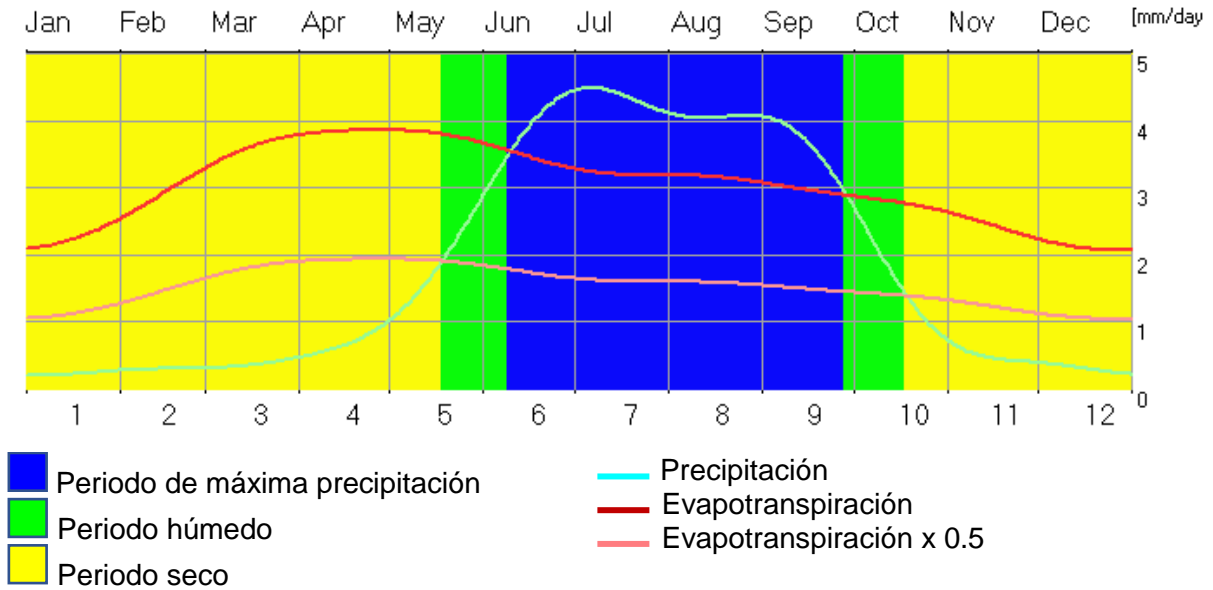


Figura 4. Estación de crecimiento para la localidad FES Cuautitlán (FAO, 2006).

En el caso de CEVAMEX (figura 5) el periodo húmedo tiene una duración de 169 días iniciando el 3 de mayo y concluyendo el 18 de octubre. El periodo de máxima precipitación, tiene una duración de 77 días comenzando el 27 de junio y concluyendo el 11 de septiembre. La temperatura media registrada durante el periodo de establecimiento del cultivo es de 17.7 °C con una mínima de 8.8 °C y una máxima de 24.7 °C. La precipitación durante el periodo húmedo fue de 3.2mm al día y en el periodo de máxima precipitación se registran 3.9 mm por día.

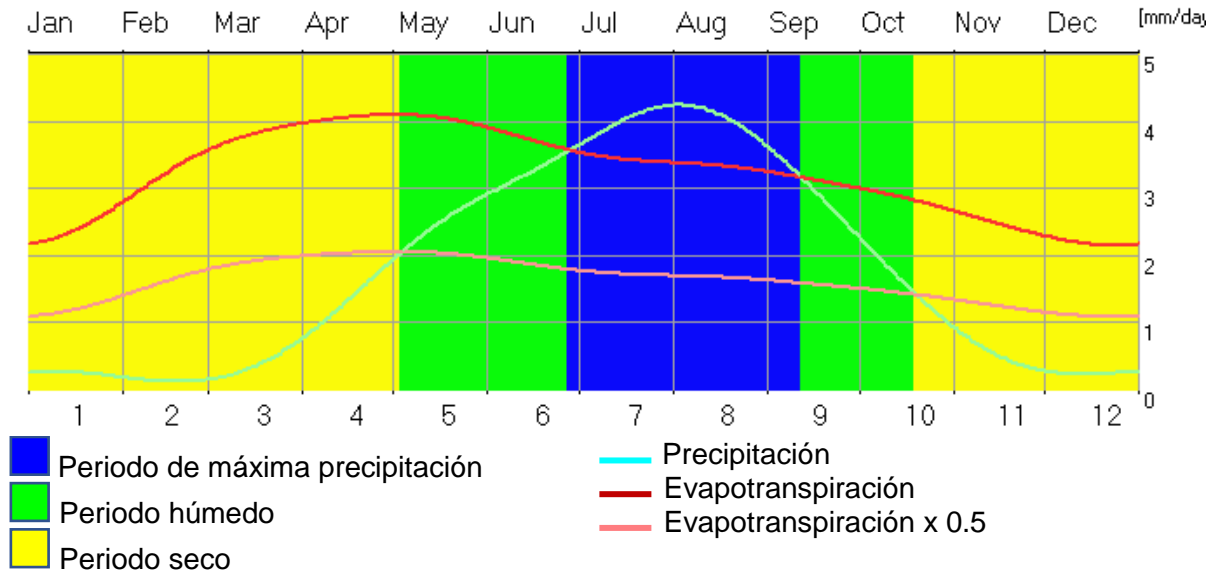


Figura 5. Estación de crecimiento para la localidad CEVAMEX (FAO, 2006).

IV. Resultados y discusión

En el cuadro 4 se muestran los resultados de los análisis de varianza, para diversas variables analizadas en la evaluación de los nueve híbridos. Se observan diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en el factor de variación entre genotipos para las variables: rendimiento de materia verde, rendimiento de materia seca, altura de planta y altura de mazorca. Para el resto de las variables evaluadas no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística para diversas variables de rendimiento y calidad de forraje en nueve híbridos de maíz considerando la media de tres ambientes en el Valle de México. Ciclo primavera - verano 2016.

Variable	Genotipo	Bloque	Ambiente	Gen x Amb	Error	CV	Media
RMV (ton ha ⁻¹)	1000.47*	38.22	708.92**	271.66**	8.13	13.47	60.33
RMS (ton ha ⁻¹)	104.33**	31.45	203.86**	51.25**	4.67	29.45	15.85
AP (cm)	1480.98**	221.86	6462.60**	400.51	23.18	9.20	252.10
AM (cm)	292.55**	179.35	443.35**	114.32	10.04	8.64	116.20
FM (días)	12.53**	4.16	245.42**	5.59*	1.60	2.05	78.05
FF (días)	16.37**	3.90	309.05**	5.49*	1.58	1.99	79.35
Mazorca %	312.70	276.31	735.90*	108.02	13.05	32.63	40.00
MS %	52.92	51.83	105.29*	40.21	5.41	20.81	25.98
PC %	0.71	0.75	27.11**	0.75	1.04	12.42	8.38
FDN %	12.02	9.12	551.45**	23.00	4.07	7.95	51.17
FDA %	4.05	4.60	589.54**	11.03	2.90	11.23	25.84
DIV %	37.97	34.69	121.76*	59.49	5.93	8.73	67.88

* Significativo al 0.05 de probabilidad de error ** Altamente significativo al 0.01 de probabilidad de error.
 RMV= Rendimiento de materia verde RMS= Rendimiento de materia seca AP= Altura de planta
 FM= Floración masculina FF= Floración femenina AM= Altura de mazorca MS= Materia seca
 PC= Proteína cruda FDN= Fibra Detergente Neutro FDA= Fibra Detergente Ácido
 DIV= Digestibilidad *in vitro* CV= Coeficiente de Variación

Entre los ambientes evaluados se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para las variables: rendimiento de materia verde, rendimiento de materia seca, altura de planta, altura de mazorca, así como para el porcentaje de proteína, de fibra detergente neutra y fibra detergente ácida. Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para los porcentajes de mazorca, de materia seca y digestibilidad. Los resultados anteriores indican, que la diferencia entre los ambientes evaluados impactó el rendimiento y el valor nutricional del forraje.

Respecto al factor de interacción genotipo x ambiente se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en las variables de rendimiento de materia verde y rendimiento de materia seca, es decir, que el ambiente afectó el comportamiento productivo de los diferentes genotipos.

El rendimiento medio de materia verde fue de $60.32 \text{ ton ha}^{-1}$ valor que se puede considerar alto tomando en cuenta la investigación realizada por Núñez y colaboradores en 2015, quienes obtuvieron una media de 37.7 ton ha^{-1} . En investigaciones realizadas en la misma zona en que se llevó a cabo la presente evaluación, López (2014) reportó un rendimiento de materia verde de 76.2 ton ha^{-1} en el ciclo 2012, mientras que, Fernández (2017) en el ciclo 2015 obtuvo 43.5 ton ha^{-1} .

En cuanto al rendimiento de materia seca la media obtenida fue de 15.8 ton ha^{-1} , valor que se encuentra en el rango de rendimiento mencionado por Améndola (2016) y también fue similar al obtenido por Fernández (2017) en la localidad de FES Cuautitlán (16 ton ha^{-1}), sin embargo, estos valores se encuentran muy por debajo de los obtenidos por López (2014) quien reportó un rendimiento medio de materia seca de 22.6 ton ha^{-1} en un experimento realizado en las mismas localidades que la presente investigación.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 5), para rendimiento en materia verde, se observa que el híbrido H 49 AE fue superior ($P < 0.05$) con respecto a los híbridos H 51 AE, H 61 R y H 47 AE, siendo el híbrido H 47 AE el que presentó menor rendimiento en comparación a los demás materiales siendo inferior en 89% al H 49AE.

El híbrido TLAOLI PUMA, de reciente registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, obtuvo un rendimiento medio de materia seca de 21.5 ton ha⁻¹, siendo superior (P<0.05) al que presentaron los híbridos H 61 R y H 47 AE en 69% y 127% respectivamente, siendo el híbrido H 47 AE el genotipo con menor rendimiento de materia seca (9.7 ton ha⁻¹).

Cuadro 5. Comparación de medias entre nueve híbridos de maíz de Valles Altos de México para diversas variables evaluadas considerando la media de los tres ambientes establecidos. Ciclo primavera - verano 2016.

Genotipo	RMV (ton ha⁻¹)	RMS (ton ha⁻¹)	Mazorca %	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)
H 49 AE	70.3 a	18.6 ab	33.9 a	76.8 b	78.1 b	273 a	125 a
CSE FESC 1	68.9 ab	15.5 abc	44.8 a	78.2 b	79.6 b	255 ab	112 a
ATZIRI PUMA	68.8 abc	16.9 ab	45.8 a	77.7 b	78.9 b	251 ab	120 a
TLAOLI PUMA	67.2 abc	21.5 a	37.7 a	77.0 b	78.3 b	271 a	114 a
TSIRI PUMA	62.6 abcd	17.7 ab	34.4 a	77.7 b	78.9 b	247 ab	111 a
H 53 AE	56.9 bcd	15.2 abc	38.4 a	80.8 a	82.6 a	249 ab	118 a
H 51 AE	56.5 cd	14.5 abc	39.4 a	78.3 b	79.4 b	248 ab	124 a
H 61 R	54.2 d	13.1 bc	34.8 a	77.4 b	78.7 b	243 ab	113 a
H 47 AE	37.4 e	9.7 c	50.8 a	78.1 b	79.6 b	233 b	110 a
D.S.H. (0.05)	12.4	7.1	19.9	2.4	2.4	35.4	15.3

RMV= Rendimiento de materia verde RMS= Rendimiento de materia seca FM= Floración masculina FF= Floración femenina AP= Altura de planta AM= Altura de mazorca
D.S.H.= Diferencia honesta significativa (P<0.05)

Por lo que respecta al porcentaje de mazorca no se encontraron diferencias (P<0.05) entre tratamientos, presentando valores de 34% a 51% los diferentes materiales evaluados, datos que coinciden con los rangos establecidos por Améndola (2016). Núñez en 2004 reportó una relación débil entre el porcentaje de mazorca y la digestibilidad en los ensilados de maíz.

Los híbridos H 49 AE y TLAOLI PUMA presentaron los valores más altos de altura de planta (272 cm y 271 cm, respectivamente), para el primer caso superior en 16% (P<0.05) con respecto al híbrido H 47 AE. Algunos investigadores han establecido que la altura de planta se asocia positivamente con el rendimiento de materia seca, hecho que se ve reflejado en la presente investigación, ya que los híbridos que presentaron mayor altura de planta tuvieron mayor rendimiento de materia seca (Elizondo, 2002)

En la comparación de medias para las variables de calidad nutricional mostradas en el Cuadro 6, sólo se encontraron diferencias significativas en porcentaje de materia seca ($P<0.05$) entre genotipos. En las variables de proteína cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y digestibilidad *in vitro* no se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre híbridos.

El híbrido TLAOLI PUMA obtuvo un porcentaje de materia seca superior ($P<0.05$) en 37% al CSE FESC 1, con respecto al resto de los híbridos evaluados no presentó diferencias significativas, en general, la media obtenida para todos los ensayos (26% de materia seca) corresponde a los porcentajes clasificados como bajos en investigaciones anteriores. En 2003, Núñez obtuvo en evaluaciones de híbridos, como valor máximo para esta variable 35.4% y como valor mínimo 25%.

Cuadro 6. Comparación de medias en variables evaluadas de valor nutricional en nueve híbridos de maíz considerando la media de los tres ambientes establecido en los Valles Altos de México. Ciclo primavera - verano 2016.

Genotipo	MS %	PC %	FDN %	FDA %	DIV %
H 49AE	26.2 ab	8.2 a	50.1 a	25.1 a	71.3 a
CSE FESC 1	22.3 b	8.2 a	49.5 a	25.6 a	67.0 a
ATZIRI	24.6 ab	8.4 a	53 a	26.9 a	68.5 a
TLAOLI	30.7 a	8 a	52.2 a	26.1 a	67.0 a
TSIRI	28.2 ab	8.1 a	51.7 a	25.6 a	68.5 a
H 53 AE	26.2 ab	8.5 a	51.9 a	26.5 a	67.4 a
H 51 AE	25.8 ab	8.8 a	51 a	26.1 a	67.0 a
H 61 R	23.9 ab	8.5 a	50.1 a	25.9 a	70.0 a
H47 AE	25.8 ab	8.7 a	50.9 a	24.8 a	64.1 a
D.S.H. (0.05)	8.2	1.6	6.2	4.4	9.04

MS= Materia seca PC= Proteína cruda FDN= Fibra detergente neutro FDA= Fibra detergente ácida DIV= Digestibilidad *in vitro* D.S.H.= Diferencia honesta significativa ($P<0.05$).

La media obtenida para proteína cruda en los híbridos evaluados fue de 8.4%, cifra que coincide con los valores obtenidos en investigaciones similares. Latournerie (2001) obtuvo una media de 8.2%, así mismo, López (2014) obtuvo una media de proteína cruda de 8.6%. En la comparación de medias entre genotipos no se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre genotipos para esta variable.

La media obtenida para fibra detergente neutra fue de 51.1%, valor muy cercano al parámetro máximo establecido por Améndola (2016). Al realizar la comparación de

medias para esta variable, no se encontraron diferencias significativas entre genotipos, sin embargo, ATZIRI PUMA mostró una tendencia a presentar mayores valores en porcentaje de fibra detergente neutra.

En la variable de fibra detergente ácida, tampoco se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre híbridos. La media obtenida fue de 25.8%, valor inferior al reportado por Núñez en 2006 y en 2010 (29.9% y 37.1% respectivamente). Los porcentajes bajos de fibra detergente ácida, son una característica deseable ya que reflejan un mayor aprovechamiento de forraje por parte del animal.

Para la variable de digestibilidad *in vitro* no se encontraron diferencias significativas entre genotipos, sin embargo, el híbrido H 49 AE presentó el valor más alto de digestibilidad entre los híbridos evaluados. La media obtenida para esta variable fue de 67.9%, valor similar a los encontrados en experimentos similares realizados en la misma región por López (2014) y Fernández (2017) quienes reportaron una media de 69.9 y 62%, respectivamente.

Al realizar la prueba de comparación de medias en los tres ambientes evaluados (Cuadro 7), se encontró en FES Cuautitlán un rendimiento de materia verde superior ($P < 0.05$) en 12.2 y 17.6% a los rendimientos obtenidos en CEVAMEX en la primera y segunda fecha de cosecha. Estos resultados fueron consecuencia, probablemente, de las diferentes fechas en que se establecieron los experimentos con respecto a las condiciones climáticas de las dos localidades. En FES Cuautitlán la siembra se llevó a cabo el 6 de junio, pocos días antes de comenzar el máximo periodo de precipitación del año, lo que favoreció el rápido desarrollo del cultivo, mientras que, los experimentos establecidos en CEVAMEX se sembraron el 25 de mayo, faltando 33 días para el inicio del máximo periodo de precipitación en esa localidad, lo que pudo ser un limitante en el desarrollo inicial del cultivo.

De la misma manera, en el ambiente FES Cuautitlán el rendimiento de materia seca fue superior, estadísticamente, con respecto al obtenido en los dos ambientes establecidos en CEVAMEX en 32 y 34%, en la primera y la segunda fecha de cosecha. Este comportamiento pudo ser consecuencia de las fechas de desarrollo con respecto a las estaciones de crecimiento de las localidades. Otro aspecto a tomar

en cuenta, es el tipo de suelo que presentan ambas localidades, lo que pudo ser un factor limitante en el rendimiento del cultivo, debido a que en la FES Cuautitlán se presenta un suelo vertisol pelico, que tiene la capacidad de retener una alta cantidad de agua, lo que pudo haber determinado el mayor desarrollo del cultivo en esta localidad.

Cuadro 7. Comparación de medias de tres ambientes para las variables de rendimiento de forraje, considerando la media de los nueve híbridos evaluados. Ciclo primavera - verano 2016.

Ambiente	RMV (ton ha⁻¹)	RMS (ton ha⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	Mazorca %
FES Cuautitlán	66.0 a	19.0 a	78.1 a	79.4 a	249.7 a	113 a	45.1 a
CEVAMEX 1	58.8 b	14.4 b	77.6 a	78.9 a	251.4 a	117 a	40.2 ab
CEVAMEX 2	56.1 b	14.1 b	78.4 a	79.7 a	255.3 a	118 a	34.7 b
D.S.H. (0.05)	5.3	3.0	1.0	1.0	15.2	6.6	8.6

RMV= Rendimiento de materia verde RMS= Rendimiento de materia seca AP= Altura de planta
AM= Altura de mazorca D.S.H.= Diferencia honesta significativa (P<0.05)

En los días a floración femenina y la floración masculina no se encontraron diferencias significativas entre ambientes (P<0.05), de igual manera ocurrió con las variables altura de planta y altura de mazorca.

El porcentaje de mazorca obtenido en FES Cuautitlán fue superior (P<0.05) en 30% con respecto al registrado en la segunda fecha de cosecha de CEVAMEX. El rendimiento de mazorca presentó una correlación positiva con los rendimientos de materia verde y de materia seca. En FES Cuautitlán se presentaron los porcentajes más altos de mazorca con respecto a los ambientes establecidos en CEVAMEX, este porcentaje de mazorca pudo ser consecuencia de un ambiente que favoreció el crecimiento y desarrollo del cultivo y, por lo tanto, la formación de la mazorca.

En el maíz para ensilar, el porcentaje de mazorca se correlaciona con un alto contenido de grano, este contiene carbohidratos indispensables en el proceso de fermentación láctica y acidificación, procesos clave para obtener un ensilado de buena calidad (Duthil, 1980).

La comparación de medias entre ambientes para las variables de valor nutricional (Cuadro 8), muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) en porcentaje de materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida.

En el ambiente FES Cuautitlán presentó un porcentaje 15% superior ($P < 0.05$) de materia seca respecto a la primera fecha de cosecha en CEVAMEX. Este resultado se relaciona positivamente con los resultados obtenidos para la variable de rendimiento de materia seca.

Cuadro 8. Comparación de medias de tres ambientes para las variables de calidad de forraje, considerando la media de los nueve híbridos evaluados. Ciclo primavera - verano 2016.

Ambiente	MS %	PC %	FDN %	FDA %	DIV %
FES Cuautitlán	28.2 a	7.4 c	50.1 b	24.8 b	69.0 a
CEVAMEX 1	24.5 b	8.4 b	56.1 a	30.9 a	65.4 a
CEVAMEX 2	25.2 ab	9.4 a	47.3 c	21.8 c	69.2 a
D.S.H. (0.05)	3.6	0.7	2.7	1.9	3.9

MS= Materia seca PC= Proteína cruda FDN= Fibra detergente neutro FDA= Fibra detergente ácida DIV= Digestibilidad *in vitro* D.S.H.= Diferencia honesta significativa ($P < 0.05$)

Para la variable de proteína cruda la segunda fecha cosechada en CEVAMEX con 147 días de desarrollo fue superior significativamente ($P < 0.05$) a la primera fecha de cosecha de CEVAMEX y al ambiente establecido en FES Cuautitlán, lo anterior pudo ser consecuencia de que para esta fecha se tuvieron más días a desarrollo (147 días), permitiendo un mayor desarrollo del grano y en consecuencia mayor acumulación de proteína.

En la segunda fecha de cosecha realizada en CEVAMEX se obtuvieron los valores más bajos fibra detergente neutra y fibra detergente ácida. Los valores fueron menores en 18.6% y 41.7% (fibra detergente neutra y ácida) con respecto a la primera fecha cosechada en CEVAMEX y en 11.9% y 24.5% con respecto a la cosecha realizada en FES Cuautitlán. Estos valores bajos de fibra detergente neutra y fibra detergente ácida se asociaron con una mayor digestibilidad *in vitro*.

Los valores de fibra detergente neutra y fibra detergente ácido obtenidos en la presente investigación se consideran dentro de los rangos que presenta un ensilado de maíz de alta calidad forrajera. Herrera (1999) menciona que el rango óptimo de fibra detergente neutra en un ensilado de maíz debe ser de 40 a 52%, mientras que el contenido de fibra detergente ácida debe estar en un rango de 25 a 32%.

La comparación de medias para la variable de digestibilidad entre ambientes no evidenció diferencias significativas ($P < 0.05$), lo que indicó que los factores ambientales y los días a desarrollo evaluados (125, 133 y 147) afectaron la digestibilidad del forraje, esto a pesar de que, si existieron diferencias significativas en el porcentaje de mazorca, factor asociado comúnmente con la digestibilidad (Núñez, 2003).

V. Conclusiones

1. Los híbridos H 49 AE y TLAOLI PUMA presentaron características productivas más deseables, siendo ambos una alternativa para los productores de maíz de los Valles Altos de México, ya que presentaron los mayores valores en rendimiento de materia seca (21.5 y 18.6 ton ha⁻¹), digestibilidad *in vitro* (67 a 71%) y proteína (8 a 8.2%).
2. El híbrido H 49 AE presentó mayor rendimiento en materia verde que los híbridos H 51 AE, H 61 R y H 47 AE, y no tuvo diferencias con respecto a los otros genotipos evaluados, observándose una correlación positiva del rendimiento de materia verde con la altura de planta debido a que H 49 AE presentó la mayor altura de planta.
3. En las variables proteína cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y digestibilidad *in vitro* no se presentaron diferencias significativas entre los híbridos evaluados, sin embargo, es importante mencionar que los valores son similares a los obtenidos por diversos híbridos en otras investigaciones realizadas en la región de estudio.
4. La cosecha realizada en FES Cuautitlán a los 125 días de desarrollo, registró mayor rendimiento de materia seca y menor porcentaje de proteína cruda con respecto a los ambientes establecidos en CEVAMEX.
5. No se presentaron diferencias significativas para los porcentajes de digestibilidad *in vitro* en los ambientes evaluados obteniendo una media de 67.8%.

Bibliografía

- Abdelhadi, L. (2007). Los silajes en la producción animal: Importancia de la calidad. XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. Buenos Aires, Argentina: 114-131
- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. *Cultivos Tropicales*, 30(20): 113-120.
- Agnusdei, M. (2007). Calidad nutritiva del forraje. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 136: 11-17.
- Améndola M, R. (2016). Conservación de alimentos para pequeños rumiantes. 8° Congreso internacional del borrego y la cabra. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México: 2-20
- AOAC. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19 ed., Vol. 1). Washington, D.C. USA. 672p.
- Araiza R, E., E. Delgado L., F. Carrete C., H. Medrano R., A. Solís S., M. Murillo O., y C. Haubi S. (2013). Degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(2): 79-96.
- Arellano, O., J. Zaragoza E., y E. Ornelas D. (2015). *Manual de prácticas de producción de forrajes y manejo de pastizales*. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, Izcalli, Edo. de México. 94p.
- Blanco V, Y., A. Leyva G., y I. Castro L. (2014). Determinación del periodo crítico de competencia de arvenses en el cultivo del maíz. *Cultivos Trópicos*, 35(3): 62-69.
- Briseño H, V. (1976). Maíz forrajero para ensilar en el Valle de México. CIAMEC, Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central. Circular, 79. México D.F.

- Church, D., y Pond, W. (2006). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. (2 ed.) Limusa. México, D.F. 621p.
- CIATA. (1998). Maíz forrajero para ensilado. Tecnología Agroalimentaria, Edición especial. Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba. pp 69.
- Cobos P, M. (s.f.). Técnicas de ensilaje y construcción de silos forrajeros. Colegio de Postgraduados, SAGARPA. Texcoco, Edo. de México. 8 p.
- CONACYT. (2014). Maíz. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. (En línea). Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>. Recuperado el 4 de noviembre de 2017.
- Crosby G, M., G. Mendoza M., y J. Lee H. (s.f.). Manual de laboratorio de nutrición animal, orientación en ganadería. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. 65 p.
- Cruz C, M., y J. Sánchez. (2000). La fibra en la alimentación del ganado lechero. Nutrición animal tropical, 6(1): 39-74.
- De la Roza D, B., A. Martínez F., y A. Argamentería G. (2002). Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. Pastos, 32(1): 91-104.
- Deras F, H. (2011). Guía técnica, el cultivo del maíz. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria CENTA. El Salvador. 40 p.
- Duthil, J. (1980). Producción de forrajes. Ed.Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Elizondo, J., y Boschini, C. (2001). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. Agronomía Mesoamericana, 12(2): 181-187.

- Elizondo, J., y Boschini, C. (2002). Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana*, 13(1): 13-17.
- Elizondo, J. (2015). Calidad nutricional y consumo de forraje de maíz y forraje estrella africana con o sin alimento balanceado en cabras. *Nutrición Animal Tropical*, 9(2): 11- 26.
- Endicott, S., B. Brueland., R. Keith., R. Schon., y C. Bremer. (2015). Maíz crecimiento y desarrollo. Ed. DuPont Pioneer. Iowa, USA. 19 p.
- Espinosa C, A., M. Tadeo R., A. Turrent F., y N. Gómez M. (2008). El potencial de las variedades. *Ciencias UNAM*, (92-93): 118-125.
- Espinosa C, A., M. Tadeo R., J. Virgen V., I. Rojas M., N. Gómez M., y M. Sierra M. (2012). "H 51 AE" Híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos Centales de México. *Fitotecnia Mexicana*, 35(4): 347-349.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *New LocClim*. Roma, Italia.
- FEDNA. (2016). Maíz nacional. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (En línea). Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/node/370>. Recuperado el 18 de enero de 2018.
- FEEDNET. (s.f.). Formas de expresar el contenido de fibra de los forrajes y alimentos. (en línea). Disponible en: <http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/fef.htm>. Recuperado el 23 de enero de 2017.
- Fernández P, G. (2017). Rendimiento y calidad de forraje en híbridos de maíz con diferentes fechas de corte en el Estado de México (tesis de licenciatura).

Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, Edo. de México. 57 p.

Garcés M, A., L. Berrio R., S. Ruíz A., J Serna L., y A. Builes A. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Lasallista de Investigación*, 1(1): 66-71.

García A, E. (1998). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía, UNAM. México. 91 p.

Garriz, M., y A. López. (2002). Suplementación con nitrógeno no protéico en rumiantes. Sitio argentino de producción animal. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Veterinaria. Buenos Aires, Argentina: 1-24.

Gaytan B, R., y N. Mayek P. (2010). Heterosis en híbridos de maíz producidos en cruzamientos entre progenitores de Valles Altos x Tropicales. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*(48): 4-8.

González C, F., A. Peña R., y G. Núñez H. (2006). Etapas de corte, producción y calidad forrajera en híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Fitotecnia Mexicana*, 29(2): 103-107.

Guevara E, A., G. Barcenás H., F. Salazar M., E. González S., y H. Suzán A. (2005). Alta densidad de siembra en producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia*, 39: 431-439.

Herrera, R. (1999). La importancia de los maíces y sorgos mejorados para la producción de ensilaje. En *Componentes tecnológicos para la producción de ensilados de maíz y sorgo*. SAGARPA-INIFAP. Saltillo, Coahuila: 47-52.

Horrocks, D., y Vallentine, J. (1999). *Harvested forages*. Ed. Academic Press. USA. 426 p.

- INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2014). Nutrición Animal Aplicada. INTA. Balcarce, Argentina. 144 p.
- Jímenez M, F., R. Rodríguez M., y R. González O. (2008). Conservación de forrajes para mejorar la productividad del ganado. SAGARPA. Puebla. 72 p.
- Jurado G, P., C. Lara M., y R. Saucedo T. (2014). Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. INIFAP. Chihuahua, México: 34p.
- Kato Y, T., C Mapes S., L Mera O., J. Serratos H., y R. Bye B. (2009). Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México. México: 115 p.
- Klein R, F. (1994). Utilización de ensilaje de maíz en producción de leche. Boletín técnico Remehue No 213. Chile: 1-17.
- Lanuza A, F. (1981). Caracterización del ensilaje de maíz. Boletín técnico Remehue No.12. Chile: 59-78.
- Latournerie M, L., S. Rodríguez H., J. Urquiza V., G. Castañon., M. Mendoza E., y A. López B. (2001). Potencial forrajero de veintidós híbridos de maíz evaluados en tres densidades de siembra. *Agronomía Trópica*, 51(3): 405-419.
- 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.
- López A, J., y K. Ibérica. (2017). Actualizaciones prácticas en el uso de silo de maíz para alimentación de vacuno lechero, presentación de datos del nuevo procesado de maíz shredlage. III Jornada FEDNA-ANEMBE. Madrid: 65-78.

- MacRobert, J., P. Setimela., J. Gethi., y M. Worku. (2015). Manual de producción de semilla de maíz híbrido. CIMMYT. México, D.F. 26p.
- Martínez M, A. (2002). Necesidades protéicas y aportes de proteína en el ganado vacuno lechero. Mundo ganadero(145, 147 y 148): 1-20.
- Maynard, L., y J. Loosi. (1969). Animal nutrition. Ed. McGrawhill. Nueva York: 613p.
- McDonald, P., R. Edwards., J. Greenhalgh, C. Morgan., L. Sinclair., y R. Wilkinson. (2011). Animal Nutrition. Ed. Prentice Hall. Edimburgo, Escocia. 632 p.
- Mena V, F. (2010). Evaluación de 4 híbridos de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la comuna de Futrono (Tesis de licenciatura). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile: 43 p.
- Mier Q, M. (2009). Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero (tesis de maestría). Universidad de Córdoba. Córdoba, España: 64 p.
- Miller, L., y J. Houghton. (1945). The Micro- Kjeldahl determination of the nitrogen content of aminoacids and proteins. University of Michigan. Michigan USA. pp 272-283.
- Núñez H, G., R. Faz C., M. Tovar G., y A. Zavala G. (2001). Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. Técnica Pecuaria en México, 39(2): 77-88.
- Núñez H, G., E. Contreras G., y R. Faz C. (2003). Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. Técnica Pecuaria en México: 41(1): 37-48.

- Núñez H, G., E. Contreras G., y R. Faz C. (2004). Producción, composición química y digestibilidad in vitro de híbridos de maíz de origen tropical y templado en la región árida de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 8(1): 1-9.
- Núñez H, G., R. Faz C., F. González C., y A Peña R. (2005). Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Técnica Pecuaria en México*, 43(1): 69-78.
- Núñez H, G. (2006). Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Campo experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Matamoros, Coahuila: 241 p.
- Núñez H, G., J. Payán G., A. Peña R., F. González C., O. Ruíz B., y C. Arzola A. (2010). Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(2): 85-98.
- Núñez H, G., A. Anaya S., R Faz C., y H. Serrato M. (2015). Híbridos de maíz forrajero con alto potencial de producción de leche de bovino. *Agrofaz*, 15(1): 47-56.
- Ojeda G, F. (1999). Técnicas de cosecha y de ensilado. Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). Roma, Italia. pp. 133-140.
- Olague R, J., J. Montemayor T., S. Bravo S., M. Fortis H., R. Aldaco N., y E. Ruiz C. (2006). Características agronómicas y calidad del maíz forrajero con riego sub-superficial. *Técnica Pecuaria en México*, 44(3): 351- 357.
- Peña R, A., G. Núñez H., y F. González C. (2002). Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con calidad. *Técnica Pecuaria en México*, 40(3): 215-228.

- Polaina, A., G. Pérez., y S. Camacho. (1982). Respuesta fotosintética en algunas variedades de maíz, frijol y café. *Revista colombiana de química*, 11(2): 63-81.
- Ramírez, E., P. Catani., y S. Ruíz. (1999). La importancia de la calidad del forraje y el silaje. *Marca Líquida Agropecuaria*, 2: 23-28.
- Ramos G, F. (2013). Maíz, trigo y arroz. Los cereales que alimentan al mundo. Universidad Autónoma de Monterrey. Nuevo León, México. 77 p.
- Relling, A., y G. Mattioli. (2002). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Ed. EDULP. La Plata, Argentina. 72p.
- Reta S, D., A. Gaytán M., y J. Carrillo A. (2000). Resuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Fitotecnia Mexicana*, 23: 37-48.
- Reta S, D., J. Cueto W., A. Gaytán M., y J. Santamaría C. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura técnica en México*, 33(2): 145-151.
- Reyes M, C., M. Cantú A., y G. Vázquez C. (2007). H-440 nuevo híbrido de maiz tolerante a la sequía para el noreste de México. *Agricultura Técnica en México*, 33(2): 201-204.
- Rodríguez, S. (2010). El maíz en la dieta de vacas lecheras. Simposio de Innovación Ganadera SIGAN. (En línea) Disponible en: <http://sigan.org/2010/pdf/maiz.pdf>. Recuperado el 22 de enero de 2017.
- Ruíz 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. 489 p.

- Sánchez O, I., y E. Pérez-Urria C. (2014). Maíz (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*, 7(2): 151-171.
- Sánchez H, M., C. Aguilar M., N. Valenzuela J., C. Sánchez H., M. Jiménez R., y C. Villanueva V. (2011). Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2): 281-295.
- SAS Institute. (2001). *Users guide release 8.1 (16 ed.)*. SAS Institute, Ed. Inc. Cary. NYC, USA.
- Shimada M, A. (2003). *Nutrición animal*. Ed. Trillas. México, D. F. 371 p.
- SIAP. (2016). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (En línea) Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/. Recuperado el 2 de enero de 2018
- SNICS. (2017). *Catálogo Nacional de Variedades Vegetales*. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA. México, D.F. 37 p.
- Soto K, L. (1982). Valor nutritivo de los forrajes. *IPA La Platina* (12): 23-25.
- Vallentine, J. (1990). *Grazing management (1 ed.)*. Ed. Academic Press. California, USA. 659 p.
- Van Lier, E., y M. Regueiro. (2008). *Digestión en el retículo-rumen*. Departamento de producción animal y pasturas. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 28 p.
- Villa L, A. (2008). *Estudio microbiológico y calidad nutricional de ensilaje de maíz cosechado en dos ecorregiones de Colombia (tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 120 p.

Villaseca C, S., y R. Novoa S. (1987). Requerimientos de suelo y clima del maíz.
IPA "La Platina"(43): 38-40.

Wesley W, K. (2001). Successful use of high quality corn silage for dairies in the
western in the United States. University of California. California, USA. pp
1-9