

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE DEL
CULTIVO DEL MAÍZ (*Zea mays* L.)**

POR:

BRAYAN VELASCO RIVERA

MONOGRAFÍA

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener El Título De:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE DEL CULTIVO
DEL MAÍZ (*Zea mays* L.)**

POR:

BRAYAN VELASCO RIVERA

MONOGRAFIA

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Director



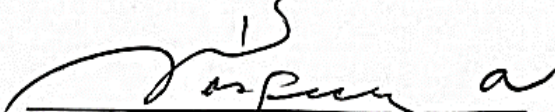
Dr. Antonio Flores Naveda

Asesor




Dr. Xóchitl Ruelas Chacón

Asesor



Dr. Ricardo Vázquez Aldape

Asesor



MC. Pedro Carrillo López

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, diciembre de 2025

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, noviembre 2025.

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado **"Efecto de la altura de corte en el rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero (*Zea mays* L.)"**

Es una producción personal, donde no se ha copiado, replicado, utilizado ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenidas de cualquier tesis, obra intelectual, artículo, memoria, (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que en caso de comprobarse plagio en el texto o no se respetaron los derechos de autor; esto será objeto de sanciones del Comité Editorial y/o legales a las que haya lugar; quedando, por tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación de este, ni a un nuevo envío.

Brayan Velasco Rivera

NOMBRE



FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la vida y por haberme permitido llegar al fin de una etapa más de mi vida. Porque siempre ha sido mi guía para seguir con este proyecto que hoy logre cumplirlo. Gracias por ayudarme durante mi tiempo como estudiante, el sacrificio fue grande, pero tú siempre has estado a mi lado para darme las fuerzas que necesito para continuar y lograr mis metas.

Quiero expresar mis agradecimientos a todas las instituciones y personas que colaboraron en el logro de este objetivo:

A mi **Alma Terra Mater** la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por cobijarme y darme el privilegio de haber continuado con mis estudios en mi formación y preparación profesional.

A mis asesores:

De la **División de Ciencia Animal**, así como a los maestros (as) de las diferentes divisiones que ayudaron en mi proceso como profesionista y a los dos departamentos, **Producción y Recursos Naturales Renovables**, por darme la enseñanza y el conocimiento para ser un buen profesionista.

Al **Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez** y asesores por darme la oportunidad de trabajar en este trabajo y darme la motivación para concluir mi proceso universitario, por su disposición, amabilidad y aporte de conocimientos.

A mi madre la **Sra. María Bertha Rivera López** por haberme educado y alentado a siempre buscar lo mejor para mí, por su apoyo incondicional, amor, bendiciones y sabias palabras, por mi Madre soy Ingeniero.

A la **Ing. Diana Patricia Hernández Gaona** y el **Ing. Eduardo Sánchez López** por su apoyo en el transcurso de mi terminación académica

A mis amigos **Rhodarth Issac Herrera Ramírez, Misael Zarate Flores y María José Flores Campos**, por su amistad, aprecio y apoyo desde un principio.

A TODOS GRACIAS

SINCERAMENTE

BRAYAN VELASCO RIVERA

DEDICATORIAS

A mis padres

Sr. Ricardo Velasco López y Sra. María Bertha Rivera López por el esfuerzo que han hecho para poderme tener estudiando una carrera profesional y estar a mi lado dándome consejos y nunca dejarme rendirme, s por eso que en estos pequeños renglones les dedico uno de mis mayores logros que de igual manera es de ustedes y por haber depositado su confianza en mí.

A mi hermano

Ing. Larry Velasco Rivera por ser una persona que estuvo dándome ánimos para lograr la meta de terminar la carrera profesional.

A toda mi familia por haber creído en mis gracias

CON SINCERIDAD

BRAYAN VELASCO RIVERA

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
I. INTRODUCCIÓN	5
1.1 OBJETIVOS.....	6
1.1.1 Objetivo general	6
1.1.2 Objetivos específicos.....	6
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Importancia del maíz forrajero.....	7
2.1.1 Importancia del maíz forrajero a nivel mundial	7
2.1.2 Importancia del maíz forrajero en México.....	7
2.2 Caracterización morfo-fisiológica del maíz	8
2.2.1 Morfología	8
2.2.2 Taxonomía	8
2.2.3 Fenología	9
2.2.4 Capacidad de macollaje	11
2.4 Requerimientos edafoclimáticos.....	12
2.4.1 Suelo	12
2.4.2 Humedad.....	13
2.4.3 Temperaturas	13
2.4.4 Fertilización	14
2.5 Manejo agronómico y producción de maíz forrajero.....	15

2.5.1 Generalidades	15
2.5.2 Plagas y enfermedades en maíz	16
2.5.3 Usos del maíz como forraje	17
2.5.4 Manejo de la cosecha del maíz forrajero	18
2.5.5 Índice de cosecha	18
2.5.6 Potencial de rendimiento del maíz forrajero	21
2.6 Calidad nutricional del maíz forrajero	22
2.6.1 Generalidades	22
2.6.2 Digestibilidad	23
2.6.3 Mejoramiento de la calidad con cultivares de maíz	25
2.6.4 Efecto de altura de corte en la producción y valor nutricional	26
2.6.5 Características del tallo en la producción y calidad del forraje	27
III.CONCLUSION	29
IV. LITERATURA CITADA.....	30

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Digestibilidad de materia seca en la planta de maíz forrajero.....	25
Tabla 2. concentración de energía neta de leche	25
Tabla 3. Rendimiento del cultivo de maíz forrajero.	25
Tabla 4. Efecto de altura de corte sobre la producción y valor nutricional de la planta de maíz en planta entera.	27

RESUMEN

El objetivo de este documento fue caracterizar el uso y manejo de la especie forrajera maíz (*Zea mays* L.), de forma general, ya que es una de las especies más importantes en México y el mundo, tanto por su relevancia como alimento como por su valor en la nutrición animal, en especial para rumiantes. Por otro lado, la trascendencia del maíz forrajero se puede visualizar como el principal insumo energético para mono gástricos y rumiantes. En México representa un cultivo esencial, con miles de hectáreas destinadas a producción de forraje. En el caso de la producción de forraje se utiliza la planta completa en diferentes estados fisiológicos, pudiendo emplearse en fresco, seco o ensilado. Dentro de su manejo, se describen variedades nativas, endogámicas e híbridas, sin embargo, esto conlleva requerimientos de suelo, clima, fertilización, control de plagas y enfermedades, y criterios de cosecha. Así mismo, su rendimiento y calidad nutricional dependen de factores agronómicos diversos tales como el clima, manejo, fertilización, disponibilidad de luz y agua, y también del periodo de producción. Para la cosecha, se ve influenciada por la altura de corte, quien guardan una relación con el rendimiento y calidad del forraje, están cercanamente relacionados, pues pueden modificar la composición nutricional, la digestibilidad y el contenido de materia seca del maíz conservado, ya sea ensilado, o henificado. Entonces, cortes mayores a 45–50 cm, tienden a mejorar la calidad nutritiva y digestibilidad, debido a que se deja en campo lo más fibroso y menos digestible (base del tallo), sin embargo, esto reduce el volumen total de forraje. Así mismo, una mayor altura de 45–50 cm incrementa la materia seca, el almidón y la digestibilidad, disminuyendo la fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), mejorando calidad nutricional. También, se destaca que la calidad depende de la proporción de grano, fibra, lignina, almidón y digestibilidad de paredes celulares.

Palabras clave: Maíz forrajero, *Zea mays*, producción de forraje y calidad de forraje.

RESUMEN

El objetivo de este documento fue caracterizar el uso y manejo de la especie forrajera maíz (*Zea mays* L.), de forma general, ya que es una de las especies más importantes en México y el mundo, tanto por su relevancia como alimento como por su valor en la nutrición animal, en especial para rumiantes. Por otro lado, la trascendencia del maíz forrajero se puede visualizar como el principal insumo energético para mono gástricos y rumiantes. En México representa un cultivo esencial, con miles de hectáreas destinadas a producción de forraje. En el caso de la producción de forraje se utiliza la planta completa en diferentes estados fisiológicos, pudiendo emplearse en fresco, seco o ensilado. Dentro de su manejo, se describen variedades nativas, endogámicas e híbridas, sin embargo, esto conlleva requerimientos de suelo, clima, fertilización, control de plagas y enfermedades, y criterios de cosecha. Así mismo, su rendimiento y calidad nutricional dependen de factores agronómicos diversos tales como el clima, manejo, fertilización, disponibilidad de luz y agua, y también del periodo de producción. Para la cosecha, se ve influenciada por la altura de corte, quien guardan una relación con el rendimiento y calidad del forraje, están cercanamente relacionados, pues pueden modificar la composición nutricional, la digestibilidad y el contenido de materia seca del maíz conservado, ya sea ensilado, o henificado. Entonces, cortes mayores a 45–50 cm, tienden a mejorar la calidad nutritiva y digestibilidad, debido a que se deja en campo lo más fibroso y menos digestible (base del tallo), sin embargo, esto reduce el volumen total de forraje. Así mismo, una mayor altura de 45–50 cm incrementa la materia seca, el almidón y la digestibilidad, disminuyendo la fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), mejorando calidad nutricional. También, se destaca que la calidad depende de la proporción de grano, fibra, lignina, almidón y digestibilidad de paredes celulares.

Palabras clave: Maíz forrajero, *Zea mays*, producción de forraje y calidad de forraje.

ABSTRACT

The objective of this document was to characterize the use and management of forage maize (*Zea mays* L.) in general terms, as it is one of the most important species in Mexico and the world, both for its relevance as a food source and for its value in animal nutrition, especially for ruminants. Furthermore, the importance of forage maize can be seen as the main energy source for monogastric and ruminant animals. In Mexico, it represents an essential crop, with thousands of hectares dedicated to forage production. Forage production involves the use of the entire plant at different physiological stages, and it can be used fresh, dried, or ensiled. Native, inbred, and hybrid varieties are described within the management guidelines; however, this entails specific requirements regarding soil, climate, fertilization, pest and disease control, and harvesting criteria. Likewise, its yield and nutritional quality depend on various agronomic factors such as climate, management, fertilization, light and water availability, and also the production period. Harvesting is influenced by the cutting height, which is closely related to forage yield and quality, as it can modify the nutritional composition, digestibility, and dry matter content of preserved corn, whether ensiled or hayed. Cuttings greater than 45–50 cm tend to improve nutritional quality and digestibility because the most fibrous and least digestible part (the base of the stalk) is left in the field; however, this reduces the total volume of forage. Similarly, a cutting height greater than 45–50 cm increases dry matter, starch, and digestibility, while decreasing neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), thus improving nutritional quality. It is also noted that quality depends on the proportion of grain, fiber, lignin, starch, and cell wall digestibility.

Keywords: Forage maize, *Zea mays*, forage production and forage quality.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de las especies más utilizadas para consumo humano y animal, es el tercer cultivo más importante en el mundo en términos de recepción de ingresos, sembrándose 129,000,000 de ha, con un rendimiento de 6.7 ton ha⁻¹ de grano en países desarrollados y 2.4 ton ha⁻¹ en países en desarrollo. El cultivo para forraje se distingue de para producir grano porque el primero tiene otros usos como para rastrojo o ensilaje. Su potencial de rendimiento y calidad nutricional para forraje está influenciado por varios factores agronómicos, pero los ciclos de producción influyen directamente en las cualidades de producción y calidad nutricional (Fassio *et al.*, 2018). Lo anterior también pueden ser modificados por efecto del ambiente variando la fisiología de la planta, presentando una tasa alta de fotosíntesis al incrementar la temperatura (Escalante *et al.*, 2008) e intensidad lumínica (Velasco *et al.*, 2010). No obstante, si existe escasez de radiación lumínica en la planta desde que el cultivo tiene una cobertura total hasta su etapa reproductiva, el rendimiento de forraje puede decaer (Endicott *et al.*, 2015). Por lo tanto, la temperatura ambiental es un factor clave para el crecimiento y desarrollo del forrajero (Noriega *et al.*, 2011)., ya que, promueve el intercambio de gases, la respiración y elongación celular en las plantas. Por tal motivo, se recomiendan fechas de siembra para primavera del 20 de marzo al 15 de abril y del 20 de junio al 30 de julio para verano (Núñez *et al.*, 2011). En verano se presentan temperaturas más altas que en primavera, pero con una mayor precipitación. Por tanto, una temperatura alta durante la noche en verano es un factor relevante, ya que estimula el desarrollo del cultivo, pero reducen el rendimiento debido a la menor intercepción de luz (Carter *et al.*, 2016; Lizaso *et al.*, 2018).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Determinar el uso y manejo de la especie forrajera del maíz (*Zea mays* L.) de forma general.

1.1.2 Objetivos específicos

- Recabar información, datos, citas, sobre el cultivo del maíz, sobre su uso en la producción de forrajes
- Explicar el proceso del cultivo del maíz con base en una búsqueda y selección sistematizada de información.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Nuevas técnicas en el cultivo de *Zea mays* L., se han ido desarrollado, y la presencia de enfermedades y plagas han afectado su producción. Por tanto, el presente documento se presenta como una oportunidad para recabar información actualizada sobre y rendimientos y por ende obtengan mejores resultados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del maíz forrajero

2.1.1 Importancia del maíz forrajero a nivel mundial

De los ingredientes involucrados en los alimentos balanceados, el grano de maíz es el principal componente de entre un porcentaje del 50 y 70 de la dieta en aves y cerdos. Además, es la principal fuente energética y de caroteno (Vit. A) con un contenido del 9 % de PC. Por lo que, es la base del suplemento energético en la alimentación del ganado bovino, seguido por el grano de sorgo y de avena (Minervet S.A. 2021). Desde un punto de costos, no es lo mismo comprar una mega caloría en forma de granos de cereales pequeños, que, bajo la forma de granos de cereales de grano grande, debido a que los sitios de digestión cambian, y el objetivo nutricional es diferente. Por lo que, el maíz es un excelente suplemento para ofrecer por su contenido de almidón de solubilidad lenta en rumen. Estos parámetros son bien vistos por el productor ya que se mejora la eficiencia de conversión de alimento en grano convertido a kg de carne, dándole una eficiencia en el manejo del recurso monetario (Minervet S.A, 2021).

2.1.2 Importancia del maíz forrajero en México

En México es el cultivo más importante, a nivel social, tanto gastronómica como culturalmente. Tiene presencia como alimento en las mesas de las familias mexicanas en forma de tortilla, y sirve de alimento a los animales, como forraje para el ganado lechero y animales de tiro. Se utilizan todas las partes de la planta como tallos, hojas, inflorescencia masculina y femenina y demás, en las diferentes etapas fenológicas, a partir del momento en que aparece la inflorescencia masculina. Por tal motivo, la producción de este cultivo ha ido aumentando durante los últimos tiempos, debido a que la superficie dedicada a la actividad ganadera también lo ha hecho, alcanzando en el 2018 hasta 17,000,000.0 ton (Sánchez *et al.*, 2011).

El volumen producido en el 2018 fue de 17,464,000 ton, en una superficie de 600 mil ha, con una producción de 29.1 ton ha⁻¹. Otro dato importante, de 603,000 ha sembradas se convirtieron en 601,000.00 ton de grano. No obstante, no se produjo lo esperado, como consecuencia de algún siniestro, con un 0.3 % de pérdida del total de la superficie. Los estados más productores en nuestro país, son en orden descendente Jalisco, con más de 6,000,000.00 de ton, Durango con más 2.5 millones de ton y Zacatecas con casi 2 millones, con el segundo y tercer lugar, respectivamente (Maíz forrajero en México, 2021). En cuanto a la superficie sembrada, anualmente se establecen 8.0 millones de ha de maíz para objetivo de cosechar grano y cerca de 500,000.00 ha para forraje, con una producción promedio de 26 t MV ha⁻¹. Igual nos mencionan que si se siembra con alta densidad de población de plantas por hectárea esto se va a reflejar en un mejor uso del terreno y con esto el productor va a esperar un mejor rendimiento del cultivo por unidad de superficie (Sánchez *et al.*, 2011).

2.2 Caracterización morfo-fisiológica del maíz

2.2.1 Morfología

La especie es una gramínea de crecimiento erecto con un ciclo vegetativo anual. Tiene un sistema radicular fasciculado, que puede generar raíces adventicias dependiendo de las condiciones, con tallo cilíndrico, hojas alternadas con haz velloso, envés liso, base ancha, y venas paralelinervias de hasta 3 metros de longitud. Contienen dos inflorescencias, una masculina que es la espiga y la inflorescencia femenina o lo que se conoce como jilote (FAO, 1993).

2.2.2 Taxonomía

Reino: Plantae

Subdivisión: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: Zea

Especie: *Z. mays*

Arocena (1933).

2.2.3 Fenología

El desarrollo de la planta se divide en dos etapas fisiológicas. La primera es la formación de las hojas primarias y la elongación del tallo, en esta fase la producción de biomasa es lenta y finaliza con la diferenciación tisular de los órganos de reproducción. En un segundo ciclo de esta fase se desarrollan las hojas, órganos de reproducción y termina con la emisión de 6 estigmas. La segunda fase, reconocida como fase de reproducción, inicia con la autofecundación de la planta, donde hay una fertilización de las partes femeninas que se diferenciarán en espigas y granos. El inicio de esta etapa se reconoce por el incremento de peso foliar y otras partes florales, y durante una segunda etapa, el peso absoluto del grano se incrementa con mayor rapidez, para alcanzar su madurez fisiológica cuando el grano pasa al estado vitrio (Reyes, 1990).

Cuadro 1. Fases fenológicas de del maíz a lo largo de un ciclo de producción.

Etapas	DAS*	Características
VE	5	El coleóptilo emerge sobre la superficie del terreno
V1	9	Es visible la base de la primera hoja
V2	12	Es visible la base de la segunda hoja
Vn		Es visible la base de la hoja número "n"
VT	55	Es completamente visible la rama final de la panícula
R0	57	Ocurre la antesis o floración masculina. La inflorescencia masculina inicia arrojando polen
R1	59	Los estigmas se vuelven visibles

R2	71	Llamada fase de ampolla, donde los granos contienen un líquido claro y es visible el embrión.
R3	80	Fase lechosa, donde los granos se llenan de un líquido blanco lechoso
R4	90	Fase masosa, los granos se llenan con una masa blanca.
R5	102	Fase dentada, la parte final de los granos contienen almidón sólido, tornándose en una forma dentada
R6	112	Fase de madurez fisiológica, donde una superficie negra es visible en la base del grano y la humedad del grano es de hasta un 35 %.

DAS*: Número aproximado de días después de la siembra en tierras bajas tropicales, donde la temperatura es de 33°C y 22°C (Merino, 2019).

El crecimiento de los órganos vegetativos como las hojas, depende de factores ambientales como la temperatura, fotoperiodo (horas de luz diarias), intensidad lumínica, tipo de luz y disponibilidad de humedad. De estos factores, el efecto de la temperatura es la más importante durante el crecimiento inicial de la plántula ya que la elongación de las hojas, en forma y tamaño, es afectada por la temperatura de la zona meristemática del tallo. Las altas temperaturas se correlacionan con una ecuación mayormente lineal, incrementando la proporción de la nervadura media foliar, pudiéndose afectar con esto el aprovechamiento del forraje. Para las hojas inferiores este efecto es de una menor importancia (Struik, 1983a). No obstante, a pesar de que las altas temperaturas acortan la fase de iniciación de la presencia de la panoja o inflorescencia masculina, también provoca un mayor número final de hojas quedando sin efecto el fotoperiodo. Datos demuestran que aproximadamente por cada 10 °C de incremento en la temperatura se aumentan dos hojas por planta (Tollenaar y Hunter, 1981). Este efecto solo puede ser notorio durante un período corto y anterior a que se presente la inflorescencia masculina.

Por lo anterior, un aumento en el número de las hojas por planta, se correlaciona de manera positiva con la productividad del forraje, ya que:

- El área total de las hojas es levemente mayor
- Se incrementa la duración de una superficie foliar activa fotosintéticamente hablando.
- Se prolonga la presencia de hojas jóvenes activas fotosintéticamente y se muestran más resistentes al efecto de las heladas en la parte superior del dosel vegetal.

Sin embargo, un mayor número de hojas por efecto de las condiciones ambientales, prolonga la fase de formación de pared celular y la fase a pre-emergencia de barbas (Struik, 1983a). También, un mayor número de lámina foliar conlleva una madurez tardía y una menor digestibilidad. Struik (1983b) encontró que una superficie foliar máxima presentada al momento de emergencia de las barbas, está relacionada directamente con la temperatura presente bajo la superficie del suelo hasta por debajo de los 5 cm durante la etapa de germinación. Así mismo, se ha reportado que la temperatura final del tallo, es el principal factor influyente en la tasa de aparición foliar. Una mayor tasa de aparición de hojas es favorable ya que el dosel de la planta alcanza una más rápida y mayor cobertura de la superficie del suelo. Por ello, una aceleración del crecimiento foliar y de los estadios de crecimiento que preceden concordaran con condiciones medio ambientales más benevolentes para un mejor crecimiento del cultivo (Thiagarajah y Hunt, 1982).

2.2.4 Capacidad de macollaje

Las especies amacolladas son aquellas que tienen la cualidad de manifestar uno o más macollos en la gran mayoría de sus plantas. Cuando una especie como *Zea mays* para fines forrajeros con dicha capacidad, le da una versatilidad superior a la de un material común de la misma especie, ya que facilitará un posible aprovechamiento directo mediante pastoreo o corte en la fase vegetativa, ubicada entre la 12ª y la 14ª hoja completamente desarrollada, y con un rápido desarrollo

posterior, debido a la presencia de macollos y/o yemas axilares. El primer aprovechamiento es un paso importante en la secuencia del pastoreo, ya que al referirse a una especie veranial de crecimiento C4 y basándose en la amplitud de las fechas de siembra, que abarcan de agosto – fines de enero, dependiendo de la zona agroclimática, ocupa un lugar preponderante en el sistema de aprovechamiento.

Si cada individuo vegetal conservara al menos un macollo para desarrollarse posterior a la defoliación o corte, la regeneración de la especie a su estado original sería a partir de la presencia de macollos potencialmente listo para vegetar. A partir de los mismos macollos por lo general las plantas individuales seleccionadas para ser cosechadas tendrían más de un macollo por planta. En un segundo aprovechamiento el cultivo puede ser utilizada para silo o pastoreo nuevamente. En el caso de que un primer aprovechamiento no se realizará, la producción final se reducirá. Básicamente el manejo de maíces amacollados es similar a cualquiera otra de las especies forrajera amacolladas, siendo los mismos factores que afectan a un correcto amacollaje después de una aprovechamiento o días después de la siembra.

2.4 Requerimientos edafoclimáticos

2.4.1 Suelo

La mejor condición edáfica para la especie de *Zea mays* L., es de textura de suelo intermedia, siendo esta de franco a franco-arcilloso. Además, deben ser suelos bien drenados y aireados, por ser este uno de las especies menos tolerantes a suelos medianamente compactados. El pH óptimo para el establecimiento del maíz es de 5.5 a 7.0. Límites fuera de este rango se presentan problemas de toxicidad de ciertos elementos, como el aluminio (Deras, 2014). Sin embargo, Zaragoza (2012), reporta una correcta adaptación a pH en un intervalo entre 6.0 y 7.0, y a condiciones de pH inferiores y superiores a este rango, e incluso

adaptándose a condiciones de suelos calizos, siempre y cuando el exceso de cal no bloquee la disponibilidad de micro elementos.

2.4.2 Humedad

Las mayores necesidades de humedad corresponden a la fase de floración, considerando hasta 15 o 20 días antes de la presencia de inflorescencias, período crítico con necesidades de 8 m³ de agua, por lo que se requiere de lluvias frecuentes o proveer el vital líquido con sistema de riego presurizados (Zaragoza, 2012). No obstante, se sabe que la máxima producción de maíz para forraje se encuentra en regiones donde anualmente se precipita de 700 a 1100 mm de agua. Así también, otro periodo crítico con respecto a la necesidad de agua es en la germinación de la semilla, en las primeras tres semanas de crecimiento del cultivo.

Al respecto, se ha reportado que, si hay un estrés por deficiencia de humedad, la disminución del rendimiento de forraje puede ser de 6 al 13 % por día, si este ocurre en el periodo de la floración y de 3 a 4 % por día en el resto de las fases de crecimiento. Por otra parte, desde los 30 días posterior a la floración, o mientras la hoja de la mazorca pasa por el proceso de desecación, el cultivo no debería recibir riego. Ante esto, se ha encontrado que el boro puede reducir el efecto del estrés hídrico en un periodo crítico de la floración, beneficiando la polinización (Benacchio, 1982). El requerimiento promedio de agua por ciclo de producción es de una lámina de riego de 650 mm, donde es necesario que se cuente con 6-8 mm día⁻¹, desde el inicio de la mazorca hasta que el grano este en su estado masoso. En general, las fases críticas de requerimiento de humedad por parte del cultivo del maíz son el espigamiento, la formación de la mazorca y el llenado de grano (Baradas, 1994).

2.4.3 Temperaturas

La temperatura media en el suelo optima es de 10 °C para el establecimiento del cultivo del maíz, pero una vez que se llega a la fase de la floración, y para se

lleve un correcto desarrollo normalmente compete que la temperatura sea de aproximadamente 18 °C como mínimo. Sin embargo, para que el cultivo alcance su maduración completa y óptima antes de la presencia de bajas temperaturas es necesario la presencia de altas temperaturas, por lo que se ha estipulado que esta especie es de regiones cálidas, donde se presenten temperatura relativamente elevadas durante la fase vegetativa (Zaragoza, 2012). No obstante, siendo una especie tropical, su máximo rendimiento se ve reducido en ambientes cálidos, con altas temperaturas diurnas y nocturnas, y esto conlleva a que su potencial de producción de materia seca o grano se visualice mejor en climas de condiciones templadas y sub-tropicales con temperaturas elevadas durante el día y durante la noche presencia de temperaturas medias, que propician ambientes frescos (FAO, 2000).

2.4.4 Fertilización

Las aplicaciones de la fertilización tanto orgánica como inorgánica son recomendables realizarse basándose en resultados de un análisis de suelo de la región, llevándose a cabo mínimo cada dos años debido a los cambios en las propiedades de estos. Este cereal de grano mayor, requiere para un óptimo desarrollo dosis de fertilización importantes que contengan los elementos de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y en menores cantidades los elementos menores o también llamados micronutrientes. No obstante, si la fertilización se realiza con el método tradicional, que conlleva seguir una dosis de fertilización base, lo recomendable es utilizar 180 kg de nitrógeno + 90 kg de fósforo y nada de potación, lo que se expresa como la fórmula: 180-90-00. En la práctica se sugiere la aplicación de la mitad del nitrógeno, es decir 90 kg y el total del fósforo que implica la formula (90 kg), esto en la etapa de pre-siembra o también cuando se lleve a cabo la siembra. Para una segunda aplicación de N o resto que especifica la dosis, debe aplicarse en el primer riego de auxilio (Guerra *et al.*, 2014).

2.5 Manejo agronómico y de producción de *Zea mays* L.,

2.5.1 Generalidades

Esta especie se cultiva mayormente para la producción de forraje verde, empacado, o ensilado, ya que es muy apetecible para el ganado y ha mostrado tener un alto valor nutricional. Para llevar a cabo el proceso de ensilaje se recomienda aprovecharse cuando el grano se encuentra en estado lechoso masoso y en la etapa donde las hojas están activas fotosintéticamente. Los datos en la literatura reportan que todos los materiales disponibles en el mercado son aptos para la producción de forraje, respecto a la producción para grano, aunque las que han demostrado un mayor rendimiento son materiales por lo general de porte alto, alcanzando producciones de hasta entre 60 y 80 ton de FV ha⁻¹, como lo han señalado Elizondo y Boschini (2001).

No obstante, en general se cultivan variedades que los mismos productores producen, las cuales son materiales adaptados a condiciones de las mismas zonas donde agricultores tienen sus propiedades, lo cual lo han logrado mediante la selección natural y con la asesoría de especialista en el área (selección artificial). Para este caso, en los cultivos de cruzamiento abierto en el caso de *Zea mays* L., los materiales “criollos” han sido considerados como variedades que se han cruzado con los mismos materiales nativos de la región, ya sea en las parcelas de los agricultores a lo largo del tiempo, a través de práctica deliberada de mismo productor o por la misma fecundación cruzada sin la intervención del hombre (Aguirre *et al.*, 2000). Así mismo, en los programas de mejoramiento, se ha practicado la reproducción entre individuos genéticamente cercanos dentro de la especie de maíz, lo llamado endogamia. Lo anterior para incrementar la homocigosidad o similitud genética en los materiales y llevar a cabo la generación de híbridos. Sin embargo, la fecundación o autofecundación entre la inflorescencia masculina y femenina del maíz, ha sido el método más rápido y efectivo para lograr la homocigosidad en esta especie (Poehlman y Allen, 2005). Es por ello que, en los materiales híbridos se cruzan líneas endogámicas homocigóticas, lo que genera

líneas puras, dando como resultado los híbridos F1 heterocigótica, es decir, el maíz híbrido es el producto o la progenie de una naciente generación de la cruce entre líneas endogámicas (Poehlman y Allen, 2005).

2.5.2 Plagas y enfermedades en maíz

Plagas como los gusanos cortadores referidos a *chorizagrotis auxiliaris*, *Agrotis ípsilon*, *Peridroma sauci*, *Agrotis* spp entre otras, trozan la base de la plántula al nivel del suelo o en ocasiones a mayor profundidad bajo el suelo, haciendo pequeños orificios en las primeras hojas causando un perjuicio en nervaduras foliares. Así mismo, los *trips* causan daños en hojas basales de la plántula, dejando el área foliar con apariencia plateada y moteada, debido a la succión y las raspaduras en las hojas, generando estrías delgadas a lo largo de las nervaduras que se pueden visualizar con un acercamiento a la plántula. Las principales especies de *trips* para el caso de *Zea mays* L., son los *Anaphothrips* spp, *Frankiniella* spp, *Caliothrips* (*Hercothrips*), *phaseoli* (*trips negro o de soya*) y *Hercothrips* spp (Dobronski et al., 1999).

Otra plaga es el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* L.), el cual es de apariencia verde oscuro, provocando daños en lamina foliar, siendo más evidentes cuando se mantienen en movimiento. Es una plaga que se convierte en muy bórax, posterior a la eclosión, iniciando con raspaduras de la epidermis foliar, para posteriormente consumir el cogollo de plántulas jóvenes, por lo que se le atribuye su nombre. De igual forma, las láminas foliares de esta especie son sensibles al ataque por pulgón (*Rhopalosiphum maidis*), la cual es una plaga vector o contrayente del virus mosaico del enanismo de maíz (MEMV), del virus mosaico de caña de azúcar (SCMV) y del virus del punteado foliar del maíz (MFPV). Los individuos dañados por esta plaga presentan manchas amarillas con pequeños orificios, tornarse de un color rojizo a medida que van madurando, hasta registrar retraso en el crecimiento de la planta, y por tanto verse afectado la producción ya sea de forraje o de grano (Dobronski y Heredia, 1999).

Por otra parte, las enfermedades que se presentan en maíz, son la pudrición del tallo generada por la especie *Pythium* (*Pythium aphanidermatum*), provocando daños característicos de la especie como pudriciones en el tallo, presencias de tizones en la plántula y también en semilla. Otra enfermedad es la llamada pudrición carbonosa de mazorca (*Macrophomina phaseoli*), similar a la pudrición del tallo se presenta en regiones agroclimáticas de altas temperaturas y humedades relativas altas, afectando principalmente la fase de formación de flor (Dobronski y Heredia, 1999).

2.5.3 Aprovechamiento del maíz como forraje

Para la producción de forraje, respecto a la de grano, para este aprovechamiento es considerada toda la planta; desde el tallo, laminas foliares y el resto de los componentes morfológicos de la planta (inflorescencia masculina y fruto, producto la polinización de la inflorescencia femenina). Como ya se mencionó anteriormente, el momento más adecuado de la especie para utilizar como forraje es cuando el grano está en estado lecho-mazoso, ya que contiene la cantidad adecuada de materia seca y nutrientes digestibles, en comparación con otras especies forrajeras. En este estado, puede aprovecharse como forraje verde o henificado mediante el proceso de deshidratación. No obstante, también puede ensilarse, para una posterior utilización en las épocas de estiaje. El ensilado, datos reportados es un aprovechamiento que se puede llevar a cabo tres meses posteriores a la siembra, lo que se ha demostrado que se incrementa su nivel nutritivo, presentado un mayor valor energético, aumento de la proteína degradable en rumen y sales minerales. Otros datos consideran que por su alto contenido de carbohidratos se puede ensilar entre los 75 – 115 días posteriores a la siembra. De igual manera, en sistemas intensivos de bovinos de carne y leche, es común integrar en las dietas el maíz molido, promoviendo alimentación integral de los animales, ya que se considera como una de las principales fuentes energéticas en la alimentación animal, para la transformación de en producto carne o leche. También este cultivo en su presentación como semilla está siendo muy usado en épocas recientes en la producción de forraje verde hidropónico (Fassio, 2018).

2.5.4 Manejo de la cosecha del maíz forrajero

La importancia del aprovechamiento de esta especie para identificar el estado óptimo del cultivo, permitirá obtener las mejores calidades en cuanto a producción y calidad del forraje. Una vez que teniendo las mejores condiciones para el desarrollo del cultivo, lo siguiente es determinar el momento óptimo de cosecha. Retomando información anterior, para el caso de un aprovechamiento por medio del proceso de ensilaje, la literatura registra que el momento óptimo dentro del desarrollo de la planta, donde el contenido de materia seca es adecuado aproximadamente a un 38 %, manteniendo un rango entre 30 al 38 % de materia seca. El objetivo es conseguir una máxima ingesta por el animal y para ello es importante realizar picado del forraje de manera fina: los estándares establecidos es lograr > 1 % de los trozos superiores a 2.0 cm y de entre 5 al 10 % de trozos entre 1.0 y 2.0 cm que facilite el proceso de rumia. Para tal caso se ha establecido como puto óptimo de cosecha para ensilado cuando los granos ubicados en la parte media de la mazorca estén entre 2/3 de la línea de llenado del grano o también llamado línea de leche (Sanchez- Hernandez, 2019).

2.5.5 Índice de cosecha

El índice de cosecha es considerado como la relación del producto grano en relación con la parte aérea total, interpretándose como la proporción del grano producido respecto al total de la planta cosechada. El índice de cosecha considerado como el óptimo, es diferente dependiente de la literatura consultada, ya que, dicho trabajo se ha llevado a cabo en diferentes zonas agroclimáticas, considerando que hay variación en las temperaturas que imperan en los sitios de estudio, a través del día o a lo largo de los periodos de estudio, que se interactúan con la intensidad de luz (Pinter, 1986). En el año 1983, Fairey reportó una relación directa negativa con un valor de $r = -0.45$, entre digestibilidad del forraje verde y el índice de cosecha (Relación: Parte vegetativa/grano). No obstante, se ha reportado que un porcentaje mayor de grano cosechado no significa necesariamente una mayor calidad del forraje para ser ensilado, ya que lo anterior conlleva una menor proporción de la

planta cosechada y por tanto, decrece la calidad del producto por una caída estrepitosa de la digestibilidad, por una mayor lignificación del tallo, lo que puede contrarrestar el efecto a favor de la calidad, pero que implica un mayor rendimiento de grano a la cosecha (Wilkinson *et al.*, 1978). Sin embargo, una mayor proporción de grano en el rendimiento total es permisible siempre y cuando esto sea compensado por una menor calidad del forraje producido. Por tanto, si bien debemos tórnale importancia a producir más grano que planta, la producción de forraje verde para ensilar o henificar también tienen relevancia, dado que estamos ablano del aprovechamiento de la planta completa (Hunter, 1986).

De acuerdo con Moran *et al.* (1990), el valor nutricional del forraje a ensilar, puede ser mejorado con forme se incrementa la cantidad de grano en el total de la planta cosechada, hasta un límite donde esta ha reducido su humedad hasta un 30 a 40 % de la MS. Todo este proceso se relaciona con las condiciones de suelo y clima donde se cultiva esta especie, ya sea para forraje o grano, lo que resulta en una menor o mayor acumulación de materia seca en el grano o en la planta. Lo anterior, fisiológicamente hablando, se lleva a cabo por la translocación de solutos celulares digestibles desde las partes vegetativas a la mazorca, dando prioridad al fruto. El material translocado contiene compuestos minerales, nitrogenados y carbohidratos. Al respecto, se ha estipulado que dependiendo de la intensidad o velocidad de translocación va a afectar directamente a la digestibilidad final del forraje cosechado (Struik y Deinum, 1982).

Por otra parte, en climas donde se presentan altas temperaturas y alta intensidad lumínica, el mayor desarrollo del grano es producto del proceso de fotosíntesis, por lo que el rendimiento total de materia seca se ve limitado por la capacidad de la fotosintética de la planta (Marten y Westerberg, 1972). Treinta días posterior a la floración completa, la actividad fotosintética del cultivo puede reducirse hasta en un 55 % de la planta completa (Moss, 1962). Sin embrago, la esterilidad del cultivo puede bajar el porcentaje de la materia seca de toda la planta hasta en un 27 %, mientras que, en el mismo periodo el rendimiento de forraje verde se puede

aumentar hasta en un 59 % (Marten y Westerberg, 1972). En climas templados, el mayor desarrollo del fruto femenino o mazorca, es esencial para una mayor producción total de forraje, ya que hay una relación directa (Coors *et al.*, 1997).

Por lo anterior, se sobreentiende que el clima puede, modificar significativamente la producción en el número de granos en la mazorca y el peso individual de estos, repercutiendo ello en la calidad y productividad total del cultivo. La cosecha total del grano con antelación de la polinización puede afectar negativamente el rendimiento entre un 50 y 60 %, siendo de mayor impacto que el establecimiento del cultivo y condiciones edafoclimáticas de la planta (Leshem y Wermke, 1981). En plantas estériles que aun contienen la chalas, tallo y marlo, la capacidad de almacenamiento de estas estructuras morfológicas florales, aun cuando no es muy notable en el total de peso de la planta, sin embargo, es menos limitada que en cultivos cuyas mazorcas han sido completamente cosechada. Por tanto, la diferencia significativa en la interacción del efecto de la remoción de las mazorcas y de la esterilidad, es similar a la capacidad de almacenamiento de los componentes marlo, tallo y chalas. Lo anterior, repercute dado que la capacidad de almacenamiento de estas estructuras no es suficiente, dado que, en ciertas condiciones climáticas, el llenado de grano es muy relevante para mantener una alta productividad (Struik, 1983a).

Así también, de los efectos significativos sobre la digestibilidad del forraje, tasa fotosintética, producción de grano y forraje y capacidad de almacenamiento, el llenado de grano hay otros efectos que se mencionan en la literatura:

- ✓ Los contenidos de compuesto digestibles como el almidón en un ensilado se aumentan de manera considerable porque ya que este tiende a permanecer inerte en la fase fermentación anaeróbica del silo, en referencia con los carbohidratos solubles para ser fácilmente convertidos a ácidos orgánicos.
- ✓ Por tanto, si el llenado de grano es inhibido, la translocación de los nutrientes se ve enfocada a la producción de materia verde (Deinum y Knoppers, 1979).

- ✓ El contenido de materia seca de una especie para grano se ve beneficiado con mayor velocidad que cuando es para producción de forraje, reflejo de una baja proporción de la parte vegetativa respecto a la del grano (Deinum y Knoppers, 1979; Phipps *et al.*, 1982; Struik y Deinum, 1982; Struik, 1983b).

Genotipos de ciclo de producción tardía, tienden a producir mayor rendimiento de forraje, pero se presenta una disminución en la relación entre el rendimiento de grano y de material verde (Russell *et al.*, 1992; Argillier *et al.*, 1995), lo que hace que, estos materiales de ciclo tardío, tienden a contener un mayor aporte de fibra y una menor digestibilidad del cultivo en general, respecto a los genotipos de madurez más temprana cosechados, en un mismo periodo de producción.

2.5.6 Potencial de rendimiento del maíz forrajero

El potencial de rendimiento de materia seca producida por un cultivo de maíz, será dependiente de una amplia diversidad de factores ambientales, edafológicos y genéticos. Dentro de los ambientales, se incluye a la temperatura, CO², luz, nutrientes y humedad disponible, mientras que en los genéticos están involucrados el tipo de ruta metabólica, la filotaxia de la planta y la cantidad de hoja por superficie de suelo y dentro de los edafológicos; la textura, estructura, pH, etc. (Hopkins 1999). No obstante, el estrés hídrico es uno de los factores más influyentes mundialmente, que determinan la producción, aun hablando de zonas climáticas templado-húmedas (Raper y Kramer, 1983). En condiciones de buena humedad del suelo, pero con una alta tasa de evapotranspiración, la conductividad de la lámina foliar y la fotosíntesis pueden verse afectada negativamente (Hirasawa y Hsiao, 1999).

No obstante, la acumulación de biomasa aérea en la planta completa de maíz se incrementa posterior al inicio del desarrollo de las hojas primarias, alcanzando un máximo contenido de materia seca de aproximadamente un 44 %, correspondiente o en concordancia con la madurez fisiológica (Soto y Jahn, 1983). La acumulación de forraje desde la etapa de grano en estado lechos hasta la etapa de grano en estado pastoso, conlleva un incremento en el peso de la mazorca

(Genter *et al.*, 1970). Al final del ciclo de producción del cultivo, la aportación al rendimiento de materia seca por parte de los tallos es menor, debido a la translocación de los productos de la fotosíntesis durante el proceso del llenado del grano, principalmente los carbohidratos solubles convertidos en agua, sacarosa y fructosa, glucosa que se traslocan del tallo a la mazorca en el cual se almacenan en forma de almidón (Phipps y Weller, 1979).

Su aprovechamiento debe ser antes de la maduración completa del grano, esto es para climas cálidos húmedos. La cosecha considerada es cuando el cultivo cumpla entre 75 a 115 días después de la siembra, lo cual va a depender del material genético manejado. Por otra parte, para climas fríos la cosecha es considerada a los 150 días, dado que las tasas de fotosíntesis son menores. Las producciones reportadas para estas condiciones son entre las 40 y 60 ton ha⁻¹, de materia verde y de aproximadamente de 15 a 25 ton MS ha⁻¹ año⁻¹ (Fassio, 2018).

2.6 Calidad nutricional del maíz forrajero

2.6.1 Generalidades

El maíz, registra un contenido de FC igual o superior a 18 %, con un PC que oscila entre el 6 y 12 % y una aportación de nutrientes digestibles totales superiores al 70 %. No obstante, se especifican cuatro factores relevantes que determinan el valor nutricional de este cultivo:

- ❖ Un cultivo para ensilar requiere de una cantidad importante de energía, lo cual va definido a partir de dos fuentes: compuesto principalmente por fibra como el rastrojo y una energía digestible de entre 40 – 80 %; y la mazorca, fuente de alto contenido de almidón y una energía digestible casi al 100%.
- ❖ El almidón, es la fuente principal de energía del cultivo del maíz, lo que procede casi exclusivamente del grano. Para el aprovechamiento del ensilado los niveles de almidón recomendables son 27-35 % y, a partir de eso, se definen las raciones para el ganado.

- ❖ Dentro de la composición de fibra, la pared de las células de las plantas está formada por componentes tales como lignina, hemicelulosa y celulosa, juntas componen la fibra mediante la cual los rumiantes, como las vacas, obtienen energía adicional.
- ❖ Digestibilidad de las paredes celulares: solo una parte de la fibra logra ser digerida por el ganado, por eso es importante medir la proporción que puede ser asimilada. Generalmente esto se mide en laboratorio y el valor ideal debe rondar entre 50-60%.

Todas las características, cuando son vigiladas rigurosamente, se traducen en un mayor éxito y rentabilidad de la producción tanto agrícola como ganadera y, por consecuencia, impacta al crecimiento económico.

2.6.2 Digestibilidad

La senescencia de la planta de maíz es rápida después del desarrollo inicial de las hojas, alcanzando un máximo contenido de MS (próximo a 44 %) cuando alcanza la madurez fisiológica (Soto y Jahn, 1983). Hacia el final del ciclo del cultivo de maíz, el aporte de los tallos a la MS total es menor; esto es por la translocación de los productos de la fotosíntesis durante el llenado de grano, principalmente los carbohidratos solubles en agua glucosa, sacarosa y fructosa, que se mueven del tallo a la mazorca donde se depositan como almidón, afectando la digestibilidad del forraje producido (Phipps y Weller, 1979).

La digestibilidad de la materia seca de planta entera se correlaciona positivamente con el índice de cosecha, mientras que se relaciona negativamente con la FDN (Fairey, 1983; Russel *et al.*, 1992; Wolf *et al.*, 1993b; Cox *et al.*, 1994). Esto indica que, a mayor % de granos, se incrementa la digestibilidad y el potencial de consumo de la planta entera de maíz. Pero, existen algunos trabajos que presentan resultados contradictorios (Roth, 1994). Las diferencias pueden deberse a que el estado de madurez de la planta puede confundir la relación entre el

rendimiento y la calidad. Esta situación puede pasar cuando habiendo un rango significativo de fechas de madurez entre los genotipos de un experimento, éstos se cosechan a un mismo tiempo (Argillier *et al.*, 1995).

Entonces, la mejor forma de incrementar la digestibilidad de la planta entera por mejoramiento parece ser la selección para una alta digestibilidad de la pared celular de las partes vegetativas. Según Zimmer y Wermke (1986) los genotipos difieren en el valor y en la disminución de la digestibilidad con la maduración. Es decir, que existen cultivares con alta digestibilidad en un estadio de crecimiento temprano, pero una mayor disminución de la misma hacia su madurez. Mientras, otros cultivares tienen una baja digestibilidad en estadios tempranos, pero en cambio presentan una disminución más lenta de la misma. La digestibilidad de la MS es uno de los principales parámetros de calidad. Así que la fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina detergente ácido (LDA), son importantes parámetros de los constituyentes de la pared celular que se relacionan directamente con la digestibilidad. La falta de interés en las diferencias en calidad del maíz para uso forrajero ha resultado en la introducción de nuevas variedades que tienen cambios leves en los valores de digestibilidad de la materia orgánica pero menores que otras características que han mejorado significativamente (Struik, 1983a).

Por su parte, Zimmer y Wermke (1986) encontraron que el contenido de lignina detergente ácido (LDA) es el mejor parámetro para predecir la digestibilidad ($R^2 = 0,627$). Actualmente, técnicas como la del NIRS y la de digestión de celulosa se correlacionan lo suficientemente bien con la digestibilidad, por lo que su empleo permite una reducción de tiempo y costo de las evaluaciones (Deinum y Struik, 1986). Por lo tanto, la utilización de silo de maíz por el ganado rumiante puede ser mejorada a través de la selección por menor concentración de fibra o por el incremento de su tasa de digestión (Jung y Allen, 1995) y dado que el aumento de la digestibilidad de la fibra del maíz puede aumentar el consumo de MS y la tasa de ganancia de novillos (Roth y Klopfenstein, 1987).

En general, la digestibilidad de un cultivo de maíz baja cuanto mayor es el largo de su ciclo. Por otro lado, si bien con cultivares de ciclo corto pueden confeccionarse silos de muy buena calidad, tienen como inconveniente que producen un volumen menor de MS digestible por hectárea (Moran *et al.*, 1990). Un ejemplo se muestra en las siguientes tablas 4,5 y 6.

Tabla 1. Digestibilidad de MS en la planta de maíz forrajero.

Resultados CIAM (1)				Resultados Penn State Extension (2)		
Digestibilidad de materia orgánica						
DMO	73	74.2	1.70%	79.6	81	1.80%

(Flores, 2004)

Tabla 2 Concentración de energía neta de leche

Resultados CIAM (1)				Resultados Penn State Extensión (2)		
concentración en energía neta leche						
ENL/kg MS	1.64	1.68	2.40%	1.55	1.62	4.50%
UFL/kg MS	0.97	0.99	2.40%	0.91	0.95	4.50%

Fuente: Flores (2004).

Tabla 3. Rendimiento del cultivo de maíz forrajero.

Resultados CIAM (1)				Resultados Penn State Extensión (2)		
Rendimiento del cultivo						
t MS/ha	18.4	16.8	-9.00%	20	18.6	-7.00%
x 1000						
UFL/ha	17.9	16.6	-7.20%	18.2	17.7	-2.80%

Fuente: Flores (2004).

2.6.3 Mejoramiento de la calidad con cultivares de *Zea mays* L.

Ahora bien, para aumentar la digestibilidad del maíz forrajero mediante mejoramiento genético es posible sin mayor sacrificio del rendimiento (Deinum y

Bakker, 1981). En cultivares y cruzamientos simples de maíz para silo se observó variabilidad genética para, digestibilidad in vitro de MS, FDA, LDA (lignina), constituyentes de la pared celular y PC (Roth *et al.*, 1970). Por eso mismo, es posible el mejoramiento genético de cultivares de maíz para una calidad de silo mayor a las de aquellos desarrollados solamente para rendimiento de grano. Evaluando cuatro híbridos de maíz para silo, Struik (1983a) observó que éstos diferían principalmente en el rendimiento de los órganos no reproductivos, en los contenidos de MS de la mazorca y de la planta entera, y en la calidad de la pared celular. Una cualidad de algunas variedades es la característica de permanecer por un periodo superior de tiempo con sus hojas verdes (stay-green), lo que permite que el grano madure antes que el tallo y las hojas. Esto incrementa la disponibilidad de carbohidratos solubles para la fermentación y por lo tanto incrementa la digestibilidad (Wilkinson *et al.*, 1998).

Entonces, se han obtenido excelentes resultados con la inclusión de genes de la nervadura central marrón (BMR), cuya expresión disminuye el contenido de lignina mejorando así la digestibilidad in vitro de la MS (Muller *et al.*, 1971). La selección de genotipos de nervadura central marrón, entre otras características controladas genéticamente, es una estrategia útil del mejoramiento para aumentar la energía por cada unidad de forraje producido. Sin embargo, los genotipos de nervadura central marrón presentan ciertas desventajas agronómicas, éstas son una menor resistencia al vuelco, un menor rendimiento de MS y una menor partición a granos (Gallais *et al.*, 1980).

2.6.4 Efecto de altura de corte en la producción y valor nutricional

La calidad del forraje de maíz se mejora conforme la altura de corte es mayor porque que se deja en el terreno la parte de la planta con menor digestibilidad (Shaver, 2003). Neylon *et al.* (2002) determinaron que al cosechar a 45.7 cm sobre el nivel del suelo bajan los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) en 1.6 y 1.9 unidades porcentuales y se incrementó la concentración de almidón y de la digestibilidad in vitro de la FDN en 2 y 2.4 unidades

respectivamente, comparado con la altura de corte a 12.7 cm. Aumentos en la altura de corte de 35 a 70 cm han permitido subir la producción de leche en 1.2 kg por vaca por día (Wu *et al.*, 2002) y de 1.5 kg cuando se sube de 12.7 a 45.7 cm (Neylon *et al.*, 2002).

Tomando en cuenta con otras investigaciones, la fracción espiga de la planta de maíz tiene un mayor contenido en materia seca y mayor valor nutricional, comparada con la parte vegetativa de la planta (caña y hojas). Un corte alto a 50-60 cm, permitirá ensilar forraje con un mayor contenido en materia seca y de mayor valor nutricional comparado con el corte a la altura habitual de aproximadamente 15-17 cm, pero disminuirá la cantidad de ensilado de maíz disponible por hectárea. Si bien la disponibilidad de ensilado de maíz cortado alto puede bajar el uso de almidón en el concentrado y permitir incluir más forraje en la ración, el beneficio neto de sustituir en la alimentación de las vacas de leche ensilado de maíz cortado a una altura habitual por ensilado de maíz cortado a mayor altura es, en la mayor parte de los casos, poco importante, así como muestra la información la tabla 7 (Gonzalo-Flores, 2017).

Tabla7. Efecto de altura de corte sobre la producción y valor nutricional de la planta de maíz en planta entera.

Resultados					
CIAM(1)		Resultados Penn State Extension (2)			
Altura de corte (cm)		Efecto		Altura de corte (cm)	
15 cm	65 cm	65 s/15 cm	17 cm	50 cm	50s/17 cm

Fuente: Flores (2004).

2.6.5 Características del tallo en la producción y calidad del forraje

La porción del tallo puede representar un 50 % o más de la biomasa total de la planta de maíz y a la vez, representar la mayor parte del contenido de fibra; de bastante menor digestibilidad que el grano. Por lo cual, el tallo es la estructura de la planta que más comúnmente se identifica como un objetivo potencial para el

mejoramiento genético de maíz forrajero. Las características del tallo como la altura, diámetro, y número por unidad de superficie, son importantes porque están estrechamente relacionadas directamente con el rendimiento de MS. Ello se relaciona con que las características del tallo son el reflejo de la tasa de crecimiento y producción de MS durante una importante parte de la estación de crecimiento (Hunt *et al.*, 1992).

Por otra parte, la altura del tallo es determinada por el número de nudos y por el largo medio de los entrenudos. El número de nudos del tallo es determinado por el fotoperiodo y por las temperaturas ocurridas antes de la iniciación de la panoja, mientras que el largo de los entrenudos es afectado por el fotoperiodo, temperatura, disponibilidad hídrica e intensidad lumínica; pero ocurridas antes y después de la iniciación de la panoja. A su vez, las condiciones edáficas durante el crecimiento temprano de la plántula también pueden afectar el largo de los entrenudos del tallo (Struik, 1983a). Si bien la temperatura afecta el largo de los entrenudos, el efecto es equivalentemente mayor en el diámetro del tallo (Struik, 1983a). No obstante, el déficit hídrico disminuye en gran forma el crecimiento del tallo, tanto en su longitud como en su diámetro. El acame en la planta de maíz es un problema que se aumenta en la medida que se incrementa la densidad de plantas y el uso de fertilizantes nitrogenados. Estudios histológicos de tallos de híbridos de maíz han indicado que cuanto más resistentes son al quebrado, mayor es su contenido de pared celular y menor es su digestibilidad (Thompson, 1982).

III. CONCLUSION

Como conclusión el maíz forrajero (*Zea mays* L.) es un cultivo fundamental para la producción pecuaria debido a su elevado rendimiento, su valor nutricional y su versatilidad en diversos sistemas de explotación. A lo largo de esta investigación se expone que la productividad y la calidad del maíz forrajero dependen de múltiples factores agronómicos, entre ellos la fenología del cultivo, el manejo del agua, la fertilización, la genética del híbrido, las condiciones ambientales y, especialmente, la altura de corte al momento de la cosecha. En el análisis de literatura demuestra que la altura de corte ejerce un impacto directo en la relación entre rendimiento y calidad nutricional del forraje. Esto mejora la concentración de materia seca, aumenta el contenido de energía neta de la leche, incrementa el almidón proveniente de la mazorca y disminuye los valores de FDN y FDA, lo que aumenta la digestibilidad total del ensilado. Por esto, este beneficio nutricional conlleva una reducción en la cantidad total de biomasa producida por hectárea, debido a la eliminación del material vegetal menos nutritivo pero voluminoso. Asimismo, el documento evidencia que otros factores también modulan el comportamiento del cultivo: el área foliar influye en la productividad mediante la captación de luz; el índice de cosecha determina la proporción de grano, que es clave para la energía metabolizable así como también la elección del cultivar afecta tanto el rendimiento como la digestibilidad, destacando materiales mejorados, variedades con características stay-green o híbridos con genes BMR.

IV. LITERATURA CITADA

- Flores, (2004). Elaboración a partir de resultados Valores medios de MS e composición nutricional de 9 híbridos colleitados en 5 datas diferentes (semanas 6 a 11 tras floración) durante dous anos. Densidade 91.2 mil planta/ha, 134 días sementeira-colleita
- Aguirre, G. J. A., Bellon, M. R., & Smale, M. (2000). A regional analysis of maize biological diversity in southeastern Guanajuato, México. *Economic Botany*, 60–72.
- Argillier, O., Barrière, Y., & Hébert, Y. (1995). Genetic variation and selection criterion for digestibility traits of forage maize. *Euphytica*, 82(1):175–184.
- AROCENA, FAUSTO. (1933) la introducción del maíz: Gonzalo de Percaztegui. *Revista internacional de estudios vascos*. Año 27. Tomo XXIV. P. 361-362.
- Baradas, M. W. (1994). Crop requirements of tropical crops. En J. F. Griffiths (Ed.), *Handbook of agricultural meteorology*. Oxford University Press. pp. 189–202
- Benacchio, S. S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de produccion en el tropico americano: un compendio. FONAIAP. P.202
- Carter, E. K., Melkonian, J. X., Riha, S. J., & Shaw, S. B. (2016). Separating heat stress from moisture stress. *Environ. Res. Lett.* 11(2016) 094012 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/094012>
- Coors, J. G., Albrecht, K. A., & Bures, E. J. (1997). Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Science*, 37(1):243–247.
- Cox, W. J., Cherney, J. H., Cherney, D. J. R., & Pardee, W. D. (1994). Forage quality and harvest index of corn hybrids... *Agronomy Journal*, 86(1):277–282.

- Deinum, B., & Bakker, J. J. (1981). Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 29(1):93–98.
- Deinum, B., & Knoppers, J. (1979). The growth of maize in the cool temperate climate... *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 27(1):116–130.
- Deinum, B., & Struik, P. C. (1986). Improving the nutritive value of forage maize. En O. Dolstra & P. Miedema (Eds.), *Proceedings*. pp. 77–90.
- Deras, F. H. (2014). *Guía técnica del cultivo de maíz*. 32 p.
- Dobronski, J., Silva, E., & Heredia, J. (1999). Control de gusanos de la mazorca de maíz mediante el uso de aceite vegetal. *Revista informativa del Instituto Nacional Autónoma de Investigaciones. Revista Informativa del INIAP*. 6 p.
- Elizondo, J., & Boschini, C. (2001). Efecto de la densidad de siembra... *Agronomía Mesoamericana*, 12(2):181–187.
- Endicott, S.; Brueland, B.; Keith, R.; Schon, R.; Bremer, C.; Farnham, D.; Bruin, J.; Clausen, C.; Strachan, S. and Carter, P. 2015. *Corn growth and development*. Pioneer Dupoint. United States, IA. 7-8 pp.
- Escalante, C. L., Trejo, C. R., Esquivel, A. O., Arreola, A. J. G., & Flores, H. A. (2008). Comparación de tasas fotosintéticas. *Rev. Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7(2), 165–172.
- Fairey, N. A. (1983). Yield, quality and development. *Canadian Journal of Plant Science*, 63(1):157–168.
- FAO. (2000). *ECOCROP*. Version Online www.ecocrop.fao.org. FAO. Roma, Italia.
- Fassio, A.; Ibañez, W.; Fernández, E.; Cozzolino, D.; Pérez, O.; Restaino, E.; Pascal, A.; Rabaza, C. y Vergara, G. 2018. *El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua*. Instituto Nacional de Investigaciones

- Agrícolas (INIA). Serie técnica núm. 239. ISBN: 978-9974-38-390-6. Montevideo, Uruguay. 31-37 pp.
- Fassio. (2018) El Cultivo del Maíz para la Producción de Forraje y Grano y la Influencia del Agua.
- Gallais, A., Huguet, L., Berthet, H., Bertin, G., Broqua, B., Mourguet, A., & Traineau, R. (1980). Preliminary evaluation. En W. G. Pollmer & R. H. Phipps (Eds.), Improvement of quality traits. pp. 319–339.
- Genter, C. F., Jones, G. D., & Carter, M. T. (1970). Dry matter accumulation... Agronomy Journal, 62(1):535–537.
- Guerra, P., Lara, C., y Saucedo, R. (2014). Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en chihuahua. Recuperado de <http://biblioteca.inifap.gob.mx>, 8080.
- Hunter, R. B. (1986). Selecting hybrids for silage maize... En O. Dolstra & P. Miedema (Eds.), Proceedings. pp. 140–146.
- Jiménez, M. C., Bourrillón, A. R., & WingChing-Jones, R. (2009). Valor nutricional del ensilaje... Agronomía Costarricense, 33(1):133–146.
- Jung, H., & Allen, M. (1995). Characteristics of plant cell walls... Journal of Animal Science, 73(1):1774–2790.
- Leshem, Y., & Wermke, M. (1981). Effect of plant density... Grass and Forage Science, 36(1):147–153.
- María Teresa Sánchez Martín Ignacio Delgado Hernández (2019) Guía práctica para el cultivo del maíz forrajero.
- Marten, G. C., & Westerberg, P. M. (1972). Maize fodder: Influence of bareness... Crop Science, 12(1):367–369.
- Martínez, V. F. (2020). Ficha técnica maíz forrajero. Info Pastos y Forrajes.

- Moran, J. B., Kaiser, A., & Stockdale, C. R. (1990). The role of maize silage... Outlook on Agriculture, 19(1):171–177.
- Muller, L. D., Barnes, R. F., Bauman, L. F., & Colenbrander, F. V. (1971). Variations in lignin... Crop Science, 11(1):413–415.
- Neylon, J. M., Ebling, T. L., Taylor, C. C., Lynch, M. P., Reddish, M. A., Edres, M. I., & Kung, L. Jr. (2002). The effects of height of cutting... Journal of Dairy Science, 89 (Suppl. 1), 383.
- Noriega, L. A., Preciado, R. E., Andrio, E., Terrón, A. D., & Covarrubias, J. (2011). Fenología, crecimiento... Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2(4):489–500.
- Núñez, H. G.; Faz, C. R.; Figueroa, V. U.; Sánchez, D. J. I.; Ochoa, M. E. y Ramírez, M. D. 2011. Producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Desplegable para productores núm. 7. 2 p. INIFAP-CIRNOC Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila.
- Phipps, R. H., & Weller, R. F. (1979). The development of plant components... Journal of Agricultural Science, 92(1):471–483.
- Phipps, R. H., Weller, R. F., & Cooper, A. (1982). A comparison between the accumulation... Maydica, 27(1):27–40.
- Pinter, L. (1986). Ideal type of forage maize hybrid... En O. Dolstra & P. Miedema (Eds.), Proceedings. pp. 123–130.
- Poehlman, J. M. y Allen, S. D. (2005). Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2da . Ed. Guzmán O. M. Limusa Noriega Editores. México. Pp 337-347
- Primera ed. Montevideo: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA;
- Reyes. C. P. (1990)- El Maíz y su Cultivo. Editorial AGT Editor, S. A. México, D.F. 460 p.

- Roth, G. W. (1994). Hybrid quality and yield differences... *Journal of Production Agriculture*, 7(1):50–54.
- Roth, L. D., & Klopfenstein, T. J. (1987). Corn variety and harvest date... *Journal of Animal Science*, 65(1):143.
- Roth, L. S., Marten, G. C., Compton, W. A., & Stutham, D. D. (1970). Genetic variation of quality traits... *Crop Science*, 10(1):365–367.
- Russel, J. R., Irlbeck, N. A., Hallauer, A. R., & Buxton, D. R. (1992). Nutritive value and ensiling characteristics... *Animal Feed Science and Technology*, 38(1):11–24.
- Sánchez, H. M. A., Aguilar, M. C. U., Valenzuela, J. N., Sánchez, H. C., Jiménez, R. M. C., & Villanueva, V. C. (2011). Densidad de siembra... *Agronomía Mesoamericana*, 22(2).
- Shaver, R. D. (2003). Practical application of new forage quality tests. UW–Madison.
- Soto, P., & Jahn, E. B. (1987). Efecto de la cosecha de choclo. *Agricultura Técnica*, 47(2):163–169.
- Struik, P. C. (1983a). Physiology of forage maize. Tesis doctoral, Univ. Wageningen.
- Struik, P. C. (1983b). The effects of short and long shading. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 31(1):101–124.
- Struik, P. C., & Deinum, B. (1982). Effect of light intensity... *Netherlands Journal...*, 30(1):297–316.
- Thiagarajah, M. R., & Hunt, L. A. (1982). Effects of temperature on leaf growth... *Canadian Journal of Botany*, 60(1):1647–1652.
- Thompson, D. L. (1982). Grain yield after selection... *Crop Science*, 22(1):1207–1210.

- Tollenaar, M., & Hunter, R. B. (1981). Quantification of the effects of temperature...
Agronomy Abstracts, 14.
- Velasco, S. P., Pineda, S., Méndez, A., España, M. L., Cárdenas, N. R., Bayuelo, J. J. S., ... Martínez, C. A. M. (2010). Reflectancia foliar... Rev. Fitotec. Mex., 33(1):45–52.
- WILKINSON, J.M.; NEWMAN, G.; ALLEN, D.M. 1998. Maize. producing and feeding maize silage. Lincoln, Chalcombe Publications. 73 p.
- Wolf, D. P., Coors, J. G., Albrecht, K. A., Undersander, D. J., & Carter, P. R. (1993). Agronomic evaluations... Crop Science, 33(1):1359–1365.
- Zaragoza, 2012. Recomendaciones de productos “SEPHU” en el cultivo de maíz. 8 p.
- Zimmer, E., & Wermke, M. (1986). Improving the nutritive value of maize... En O. Dolstra & P. Miedema (Eds.), Proceedings. pp. 91–100.