

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL**



**Digestibilidad *In Vitro* de la materia seca del ensilado de
maíz forrajero (*Zea mays*) Var. Ares (Unisem®) en tres
estados fenológicos**

Por:

Katya Esmeralda Ángel Pinedo

Tesis

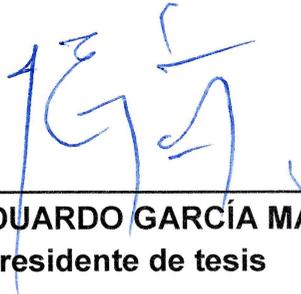
Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Digestibilidad *In Vitro* del ensilado de maíz forrajero (*Zea maiz*) Var. Ares (Unisem®) en tres estados fenológicos

Tesis

Elaborada por Katya Esmeralda Ángel Pinedo como requisito parcial para obtener el título de: ING: Agrónomo Zootecnista con la supervisión y aprobación del comité de asesoría



DR. JOSÉ EDUARDO GARCÍA MARTÍNEZ
Presidente de tesis



Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez
Asesor



Mc. Fco Alonso Hernández Huerta
Asesor

EI COORDINADOR DE CIENCIA ANIMAL
Dr. José Dueñez Alanis



AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por haberme dado la vida, salud y fortaleza para llegar hasta esta etapa de mi vida. Por darme a una familia que siempre me apoya e impulsa a cumplir mis sueños y metas y, principalmente por darme fuerza y tranquilidad para salir adelante en los momentos difíciles.

A Padres

Yolanda Pinedo Rodriguez y Abelardo Ángel González, por todo el apoyo, amor y confianza que siempre me han dado. Por guiarme por el camino del bien, de la educación e inspirarme siempre a ser una persona de bien. Agradezco su esfuerzo y sacrificios para darme un mejor futuro; son mi mayor orgullo.

A mi Alma Mater

Por ser mi segundo hogar durante mi formación académica, por darme las herramientas y habilidades para cumplir con una de mis más grandes metas y crecer profesionalmente y, finalmente, por darme la fortuna de coincidir con personas que ahora son parte importante de mi vida.

A mi asesor

Dr. José Eduardo García Martínez, por dedicar su valioso tiempo para asesorarme en la elaboración de este proyecto, por compartir sus conocimientos, también por apoyarme con sus consejos y su apreciable amistad.

A la laboratorista

M. C. Laura Maricela Lara López, por su apoyo, colaboración, entusiasmo y dedicación en el trabajo realizado en el laboratorio.

DEDICATORÍA

Con mucho amor y agradecimiento a todas las personas que creyeron en mí, que me impulsaron y me brindaron su apoyo para salir adelante en todo momento.

A mis queridos padres: con todo mi esfuerzo y dedicación, por el amor, confianza y apoyo incondicional que siempre me brindan.

A mis abuelas **Martha Rodríguez Romo y Benita González González:** por darme siempre su bendición, por creer en mí y desearme siempre lo mejor. También a **José Santos Pinedo Moreno †** que aunque no se encuentre físicamente, sé que estaría orgulloso de mí.

A mis hermanos **Alexis y Fátima:** por estar pendientes de mí y mostrarme su apoyo y cariño a la distancia. Los quiero mucho.

A mi Cuñada **Nohemi** por darme la dicha de ser tía. También, a mis sobrinos **Tadeo y Camila**, por llenarme de alegría y por genuinamente, darme ánimos para seguir adelante siempre. Los quiero mucho.

A mis mejores amigas de la universidad: **Ana Paula y Sandra Cabral** por todo su apoyo y siempre motivarme a echarle ganas, por compartir los mejores momentos de la carrera conmigo y dejarme entrar en sus hogares. Agradezco su paciencia y que me hayan brindado su amistad. Las quiero mucho y espero que siempre formen parte de mi vida.

A mis mejores amigos **Fernanda Ángel**, por confiar en mí y apoyarme en todo momento. Por tenerme paciencia, escucharme y aconsejarme para salir adelante y ser mi salvavidas siempre. También, **Ana Ángel, Marcela Alba y Diego Alba** por creer en mí, darme ánimos y estar en mi vida. Por su apoyo y cariño. Son los mejores.

A mis amigos de la universidad, **Paul y Ángel** por los bonitos momentos, por el apoyo y por su amistad. También, los **equipos de voleibol de la universidad**, por su amistad y compañerismo, además de los buenos momentos y bonitos recuerdos.

Al **Mvz Javier Gutierrez**, por compartirme sus conocimientos durante el periodo de prácticas profesionales, por brindarme su amistad y ser parte de mi formación laboral. Así como al personal de la Unión Ganadera Regional de Coahuila del área de cuarentenaria por su cariño, compañerismo y amabilidad.

Contenido

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL	i
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL	i
AGRADECIMIENTOS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	6
I. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Objetivo	7
1.2 Justificación	7
1.3 Hipotesis.....	8
II. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 Importancia de la Ganadería en México	9
2.2 Importancia del Uso de Forraje en la Ganadería	9
2.3 Parámetros para Evaluar la Calidad de los Forrajes	13
2.4 Factores que Afectan a la Calidad de un Forraje	14
2.4.1 <i>Digestibilidad e ingestión.</i>	16
2.4.2 <i>Contenido en nutrientes.</i>	17
2.4.3 <i>Factores antinutritivos (FAN).</i>	17
2.4.4 <i>Otros factores que afectan a la calidad.</i>	18
2.5 Métodos de Ensilaje	18
2.5.1 <i>Silo</i>	18
2.5.2 <i>Silo trinchera.</i>	18
2.5.3 <i>Silos bunker</i>	19
2.5.4 <i>Silos de montón</i>	19
2.5.5 <i>Silos de bolsa</i>	19
2.5.6 <i>Silos en canecas y tanques</i>	20
2.6 Proceso de Ensilaje	20
2.7 Inoculantes para Ensilados.....	21
2.8 Calidad del Ensilaje	22
2.9 Evaluación de la calidad del ensilaje	22

2.9.1 Revisar la humedad y las tasas de descarga del silo	23
3.1 Digestibilidad <i>In Vitro</i> de la Materia Seca (DIVMS)	23
3.2 Digestibilidad	24
3.3 Formas de Determinar la Digestibilidad	26
3.3.1 Digestibilidad simple.....	27
3.3.2 Digestibilidad por diferencia.....	27
3.3.3 Por ecuaciones simultaneas.....	28
3.4 Factores que afectan la digestibilidad.....	29
3.4.1 Nivel de alimentación.	29
3.4.2 Composición del alimento.	29
3.4.4 Procesado de alimentos.	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.5 Ubicación del área de estudio.....	31
3.6 Siembra	31
3.7 Cosecha	31
3.8 Ensilaje.....	32
3.9 Muestreo	32
4.1 Metodología	32
4.1.1 Reactivos	32
4.1.2 Procedimiento	33
A) Preparación de bolsas de filtro y muestra.	33
B) Preparación de la mezcla de solución Buffer: (Para cada frasco digestor)	
.....	33
C) Preparación del inoculo e inculcación.....	34
4.1.3 Cálculos:	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
V. CONCLUSIÓN	40
VI. LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 4.1 Medias de tratamiento para la DIVMS (Medias \pm DE) de ensilado de maíz con relación a fecha de corte.	37
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 4.1 Relación entre la Digestibilidad In Vitro de la materia seca (DIVMS) y los días al corte del ensilado de maíz forrajero (Zea mays) Var. Ares, Unisem®.....	38
--	----

Figura No. 4.2 Relación entre la fibra cruda (FC) y la Digestibilidad In Vitro de la materia seca a 3 fechas de corte del ensilado de maíz (Ares, Unisem®).	39
---	----

RESUMEN

La presente investigación, se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la fecha de corte (maduración) del maíz (*Zea mays*), sobre la Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca (DIVMS) del ensilado de maíz variedad Ares, Unisem®. Se realizaron 3 tratamientos a diferentes etapas de corte, los cuales fueron $T_1 = 97$ días $T_2 = 104$ días $T_3 = 111$ días con igual número de repeticiones.

Se determinó la DIVMS mediante la tecnología de extracción por bolsas filtrantes, con ayuda del incubador Daisy²⁰⁰. Las medias de DIVMS se compararon con ayuda de Tukey donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). T_1 fue superior obteniendo un resultado 59.24% en DIVMS, mientras que en el T_2 y T_3 se tuvieron resultados de 54.21% y 48.03% (respectivamente), lo que indica que la DIVMS disminuye de manera considerable, con respecto a los días de al corte.

También, se comparó la relación entre la fibra cruda (FC %) y la DIVMS, donde se encontró estrecha relación entre ambos factores, ya que a medida que la FC aumenta, su digestibilidad disminuye. Se concluye que existe una estrecha relación entre la DIVMS y Los días al corte ya que conforme se incrementa la maduración de la planta la DIVMS se reduce; así mismo, existe una relación inversamente proporcional entre el contenido de FC del ensilado de maíz forrajero y la DIVMS, ya que conforme se incrementa el % de FC se reduce significativamente el % de DIVMS.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importante de México. No solo se utiliza como alimento diario de las familias mexicanas, sino también en la ganadería, especialmente como alimento para bovinos lecheros y de tiro. Se aprovecha como alimento ganadero en distintas etapas fenológicas de la planta, principalmente a partir del momento en que aparece la panoja. La finalidad de ensilar el maíz, es conservarlo en silos para que este se fermente. El ensilaje, se puede realizar aproximadamente 90 días después de la siembra, de esta manera aumenta su nivel nutritivo en cuanto a su valor energético (SADER, 2020). Existen factores que afectan la calidad de los forrajes ensilados, como lo son: la especie o variedad, condiciones climáticas, tipo de silo y estado de maduración o edad al corte, entre otros. Una de las formas para evaluar los alimentos es a través de la determinación de la digestibilidad, por lo que el planteamiento de este estudio fue: determinar la digestibilidad *in vitro* del ensilado de maíz (*Zea mays*) variedad Ares de Unisem®, a distintos días al corte y comparar la relación entre fibra cruda (FC%) y DIVMS.

1.1 Objetivo

El objetivo de esta investigación fue determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del ensilado de maíz forraajero (*Zea mays*) Var. Ares de unisem® en tres estados fenológicos, así como conocer la relación que existe entre la fibra cruda (FC%) y la DIVMS.

1.2 Justificación

Considerando el ensilado de maíz forrajero (*Zea mays*) como una opción de preservación de forrajes en épocas de escases, se planteó la presente investigación para determinar su Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca (DIVMS) en tres estados fenológicos.

1.3 Hipotesis

H₀: La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en ensilado de maíz forrajero (Zea mays) Var. Ares de Unisem® en tres estados fenológicos no son diferentes.

H_a: La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en ensilado de maíz forrajero (Zea mays) Var. Ares de Unisem® en tres estados fenológicos son diferentes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la Ganadería en México

Es sabido, que las las actividades que se efectúan en el sector pecuario, tienen una gran variedad de sistemas productivos, que van desde los más tecnificados hasta los de tipo tradicional. La producción pecuaria, se refiere a la domesticación de animales de granja, como lo son los pollos, cerdos, vacas, cabras, etc., y es una actividad del sector primario que incluye su cuidado y alimentación, que también esta encaminada a la producción de alimentos para consumo humano. La ganadería puede ser extensiva, intensiva y de autoconsumo, existen varios factores que influyen para un buen desarrollo de los animales como el relieve del suelo, acceso a fuentes de agua, aptas condiciones climáticas referentes a humedad y temperatura, así como vegetación y el forraje que se utiliza para su alimentación (FRICO, 2017).

La ganadería llegó a México desde la época de la colonización, puesto que durante la época prehispánica se enaminaba de manera sutil a la cria de especies como el pavo, xoloitzcuintle, la grana cochinilla, entre otras. En la actualidad, el sector pecuario figura como uno de los mecanismos con mayor desarrollo en el sector agropecuario a nivel internacional, donde la carne de ave es el producto de mayor consumo, principalmente porllo, seguido por la carne de res.

2.2 Importancia del Uso de Forraje en la Ganadería

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) constantemente resalta la importancia de los forrajes, no solo como fuente de alimento para el ganado, sino también para matener los suelos fértiles, cuidar el medio ambiente y ayudar al ciclo de nutrientes del suelo.

Los altos porcentajes nutritivos, tales como carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales, determinan el valor nutritivo de los forrajes, los cuales son indispensables para el crecimiento, salud y productividad de los animales que los consumen; a si como tambien, su adaptación biológica facilita y acelera su reproducción vegetativa.

Aunque comúnmente, las leguminosas poseen mayor cantidad de proteínas, por el contrario de las gramíneas, que presentan mayor cantidad de carbohidratos; son realmente los factores físicos los que influyen en su calidad, cantidad y distribución de nutrientes. Tales como las condiciones climatológicas, la fertilidad del suelo y la época del año, así como también los factores biológicos, principalmente la intensidad de pastoreo, la etapa fenológica de la planta y la competencia que existe contra las malezas.

La fertilidad del suelo, es el factor físico con mayor importancia para la calidad, desarrollo y productividad de los forrajes, pues es el que se encarga de regular su crecimiento que, de la misma manera, influye en la calidad de la planta. En otras palabras, cuando los suelos son ricos en minerales esenciales (Duffey *et al.*, 1978), los forrajes comúnmente se desarrollan y tienen una buena calidad, de lo contrario éstos son deficientes en crecimiento y bajos en calidad.

Es por esto, que ahora en México la utilización de fertilizantes es más común y desafortunadamente no existe un control, pues solo se busca evitar las deficiencias antes mencionadas; esto sucede principalmente en zonas ganaderas del país. Esto afecta no solo económicamente, sino también al medio ambiente, sin conocer el tamaño de las consecuencias que el uso desmedido que los compuestos químicos nos podría traer a futuro.

Las etapas del desarrollo de la planta, estrategias de propagación y sobrevivencia, además de la labor de las malezas, son los factores biológicos más notorios que tienen efectos negativos sobre la calidad de los forrajes.

En la síntesis de proteínas es principalmente donde se centra la mayor producción metabólica de la forrajera cuando se encuentra en sus estados juveniles, es decir, durante la etapa de crecimiento y madurez; por el contrario, en el periodo maduro de la planta, ésta se canaliza a la síntesis de material de reserva, como los carbohidratos. En etapas juveniles de las gramíneas, la cantidad de proteínas producida es alta, pero conforme alcanza su madurez, esta comienza a disminuir. Esta madurez se ve reflejada en una mayor producción de carbohidratos y lignificación de las partes vegetativas. Pero, el apacentamiento puede alterar este ciclo natural de desarrollo de las gramíneas y otras plantas forrajeras (especialmente en sus etapas maduras), y volver a regenerar tanto tallos como follaje, probablemente con características similares a las de la etapa juvenil (Sullivan y Wilkins, 1948).

Aparte de sus características nutritivas, las gramíneas presentan adaptaciones biológicas que tal vez han desarrollado como respuesta al forrajeo. Por lo general, los pastos tienen una alta capacidad de resiliencia o reproducción vegetativa, esto se lleva a cabo por la actividad de meristemas intercalares, estolones y rizomas que les permiten regenerarse, sobrevivir y funcionar como forrajes en distintos climas, suelos y ambientes, esto también bajo distintas intensidades de apacentamiento.

También es importante considerar la distribución, abundancia y por lo tanto disponibilidad del forraje. Las plantas forrajeras principalmente se encuentran localizadas en comunidades vegetales denominadas pastizales, los cuales pueden ser de tipo primario (comunidad vegetal original) o secundario (producto de la transformación de otra comunidad (bosque de pino-encino, encinares, matorrales espinosos, entre otros) y pastizales artificiales, que son el producto del cultivo selectivo del hombre. Rzedowski (1975) señala que los pastizales dominan una fracción importante del territorio del país.

En México, el clima semi-árido y ligeramente frío, así como el clima frío en altitudes superiores a los 4000m, son los que favorecen el desarrollo de los pastizales. Como antes se mencionó, existen dos tipos de pastizales naturales en México, para los cuales se ocupa una extensión mayoritaria que representa alrededor del 80% del total, mientras que en el 20% restante, se encuentran los de clima templado y los artificiales (desarrollados con especies exóticas o introducidas) (Rzedowski, 1975).

El objetivo principal del manejo de pastizales es obtener una productividad alta de los mismos y del ganado por un costo mínimo, además del mejoramiento de especies forrajeras. Es por eso, que se necesita tomar acción dentro del tema de la sustentabilidad, pensando en la restauración de las áreas y en la misma propagación de las especies implicadas.

En lo que refiere a la propagación y obtención de especies forrajeras, es necesario implementar una acción para el fitomejoramiento y la obtención recomendable y considerable de semilla forrajeras de origen silvestre, especialmente, Correspondiente a la obtención de semillas, hoy en día no existe en México un programa gubernamental o privado que este encargado de la producción de semillas forrajeras nativas. Por lo general, la semilla que se usa para sembrar en zonas forrajeras es adquirida en el extranjero y procede, en su mayoría, de especies introducidas. En México, es necesario conocer ciertos atributos de las especies de semillas para su fitomejoramiento y producción, tales como la interacciones botánicas (resistencia a plagas), requerimientos ambientales (referente a diferentes tipos de climas y suelos), así como también información de tipo fenológico (producción continua y prolongada de forraje y habilidad de establecimiento y manejo), sustancias tóxicas presentes, palatabilidad, calidad nutricional del forraje, entre otros (Hernández y Ramos, 1987).

Basado en los datos de los herbarios y de los tratamientos taxonómicos es posible reconocer los patrones de distribución de las especies potencialmente forrajeras, los tipos de vegetación a donde corresponden y uno de los factores importantes en el establecimiento de las plantas, el clima. De esta manera se pueden empezar los trabajos de fitomejoramiento de las plantas ya sea *in situ* o *ex situ*. Mejía y Dávila (1992) señalan que 47.3% del total de las especies de gramíneas de México (nativas e introducidas) tienen un valor forrajero. Aproximadamente 24% de estas especies son consideradas de buena calidad y en el 76% restante se encuentran especies cuyo valor forrajero es bajo o poco conocido. Sin embargo, a partir de esta lista y de trabajos de fitomejoramiento probablemente se pueden desarrollar especies forrajeras de buena calidad adaptadas a los diferentes ambientes del país.

2.3 Parámetros para Evaluar la Calidad de los Forrajes

Entre los principales factores que afectan el buen aprovechamiento de los animales, se encuentra la palatabilidad, el contenido de nutrientes, factores anti nutritivos y la digestión e ingestión.

Los forrajes pueden consumirse en verde o ser conservados (ensilado y henos) para luego ser consumidos por el ganado. Estos se caracterizan por su alto contenido de fibra, más del 30% de la materia seca es fibra neutro detergente (FND). Son de gran importancia en las dietas de los rumiantes, ya que estimulan la rumia y la salivación, ayudando a mantener un pH adecuado del rumen. De esta manera, se facilita el crecimiento de la microbiota ruminal y beneficia la síntesis de la grasa de la leche.

Es necesario conocer los factores que afectan la calidad de los forrajes, si es que queremos producirlos de buena forma. Su calidad varía entre especies pero también dentro de un mismo cultivo. Por lo que es importante efectuar un análisis con el fin de conocer su contenido de nutrientes y su valor nutritivo. Un forraje de mala calidad no nos permitirá obtener los valores

productivos deseados, por lo que nos obliga a aumentar la suplementación de concentrados, disminuyendo así el margen neto de la explotación.

2.4 Factores que Afectan a la Calidad de un Forraje

Para el caso de los forrajes en los que se permite realizar varias cosechas por temporada, se debe tomar en cuenta que a partir del segundo rebrote, aumenta el contenido de material lignificado y disminuye su calidad cuanto más tiempo se deja transcurrir entre cada corte, por lo que es recomendable no superar los 120-180 días entre cortes periódicos. Todos los métodos de conservación, conllevan pérdida de materia seca, que son asumibles siempre y cuando la técnica de conservación se realice de manera correcta. Es recomendable tratar de evitar dichas pérdidas, pues estas afectaran el valor nutritivo del producto (Perulactea, 2014).

Las características organolépticas de los forrajes, es decir, color, textura, olor entre otros, nos ayudan a tener una percepción sobre la calidad del forraje, pero aun así es necesario realizar un análisis físico-químico. Referente al color, para que sea un forraje de calidad, este debe tener una coloración similar al que tenía antes de ser cosechado, comúnmente color verde. En los henos, cuando los forrajes son recolectados en una etapa avanzada de su madurez, presentan colores pajizos, lo que indica que su calidad nutritiva es baja, sucede regularmente en forrajes de gramíneas. Por otro lado, los colores castaños nos muestran que existe un nivel de humedad excesivo, por encima del 15% o ensilados con fermentaciones inadecuadas (aeróbicas) lo cual reduce la digestibilidad de la proteína cruda. El olor también es una característica importante a valorar, por lo general un forraje tiene un olor a hierba y, debe mantenerse agradable durante su conservación, mientras que los que se perciben con olores a moho, estiércol o cualquier olor extraño se descartan como forrajes de calidad (Perulactea, 2014).

La proporción de hojas y tallos en los forrajes conservados es muy significativa, principalmente en los henos, pues al presentar una deficiencia de hojas, se puede interpretar recolecciones tardías, pero primordialmente una mala tecnología de cosecha y henificación de leguminosas. También, si éstos son secados de manera excesiva, se producirá una pérdida considerable de hojas, durante la finalización del proceso de volteo, ahilerado y empaçado. Tratándose de alfalfas deshidratada y en rama, es importante observar que las hojas mantengan sus estructuras, esto realizando un empleo de temperaturas y tiempo de deshidratación adecuados, esto así, evitara la pulverización y formación excesiva de finos, que en caso de las especies como caprinos resultan menos apetecibles (Perulactea, 2014). Es importante tomar en cuenta y a detalle la temperatura en la que se conservan los forrajes. En el caso de los henos empaçados, es necesario comprobar la temperatura interior de los paquetes, esto se puede hacer introduciendo la mano si se trata de pacas pequeñas, para las pacas grandes se puede utilizar una sonda. Si la temperatura es superior a la del medio ambiente, se interpreta que fueron empaçados a un grado de humedad que no es el adecuado. Para los ensilados es fácil valorar solo utilizando nuestros sentidos, tomando en cuenta el color y el olor, como ya se mencionó anteriormente. Aunque también se puede observar la relación entre las hojas y tallos, su consistencia y, la cantidad y calidad del grano, el cual nos indicara el momento óptimo para su recolección.

La valoración aproximada del grado de humedad, también es un factor importante en el caso de los ensilados. Como en el caso del maíz, la humedad no debe ser excesiva, esto lo podemos observar al tomar un puño de ensilado con la mano y apretar; no deben chorrear gotas de agua. Si la humedad es alta, habrá una pérdida de valor nutritivo, debiéndose al aumento de lixiviados, también habrá un aporte menor de nutrientes como consecuencia de la disminución de ingesta de materia seca por los animales. Es por esto que es importante realizar una valoración organoléptica un análisis químico, para tener una idea aproximada de su grado de calidad. En el caso de los forrajes

henificados los parámetros químicos mínimos a analizar son la materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND) y cenizas. En ensilados también es importante medir el pH. Y en el caso de ensilados de cereales es necesario analizar también su contenido en almidón (Perulactea, 2014).

El consumo de materia seca de un forraje está inversamente relacionada con el contenido en fibra neutro detergente (FND). La digestibilidad de materia seca es valor que se ve relacionado con el contenido de fibra ácido detergente (FAD). El valor relativo forraje (VRF) asocia estos dos factores: ingestión de materia seca y digestibilidad del forraje, que a su vez establecen el rendimiento productivo (Perulactea, 2014). Para tener una buena alimentación en las explotaciones rumiantes, se debe tener como prioridad la selección y el manejo de los forrajes. Ya que este, forma parte de un porcentaje muy importante de las ditas diarias proporcionadas a los animales, teniendo así un gran impacto no solo sobre la producción, sino también en los costos y salud del ganado. Para obtener forrajes de calidad, es necesario de una buena planificación, un manejo y formación adecuados por parte del ganadero en este ámbito.

Los rumiantes seleccionan el forraje por medio del olfato, tacto y gusto. Su palatabilidad depende de su contenido de humedad, su textura, del porcentaje de hojas ante tallos, del tipo y momento de abonado, de la manera en que se cosecha y conserva, del contenido de factores antinutritivos, como lo son las plagas y los hongos, que pueden afectar al gusto (Perulactea, 2014).

2.4.1 Digestibilidad e ingestión

La digestibilidad, se refiere a la cantidad de alimento que es retenido y digerido por el animal a lo largo del tracto digestivo. Mientras mayor digestibilidad exista, mayor será su utilización nutritiva. La digestibilidad depende mayormente del grado de madurez de la planta o de a etapa en la que se encuentra su desarrollo vegetativo. Siendo así, en las etapas más tempranas

del crecimiento vegetativo, sus valores de digestibilidad de materia seca son más elevados. Que es cuando hay mayor contenido de hoja en la planta y menor proporción de materiales lignificados. Aunque al concluir el ciclo vegetativo la proporción de tallos aumenta, la fibra se encuentra más lignificada y la digestibilidad de la materia seca disminuye. Por lo regular, hay mayor consumo de forraje, cuanto mayor sea su palatabilidad y digestibilidad. La capacidad de consumo del animal (expresada en materia seca ingerida en 24 horas), viene determinada en gran medida por el tiempo que tarda en pasar por el aparato digestivo que precisa cada forraje, que será menor cuanto más digestible sea. Si se trabaja en forrajes de calidad, es más posible conseguir una mayor ingesta diaria del animal, lo cual se verá reflejado en una mayor producción.

2.4.2 Contenido en nutrientes

La humedad de los forrajes varía entre el 60 y 90%. Por lo que es necesario conocer su materia seca, para así poder comparar sus valores nutritivos. Las leguminosas contienen proteína cruda de entre el 15 y el 23%. En el caso de las gramíneas oscila entre el 8 y 18%. El consumo de materia seca es mayor para las leguminosas ya que la digestibilidad es mayor como resultado de su mejor relación hojas/tallos. Sin embargo, su concentración energética es muy parecida. Todos los forrajes son ricos en calcio, potasio y vitaminas liposolubles (Perulactea, 2014).

2.4.3 Factores antinutritivos (FAN)

A pesar de que los forrajes cuentan con componentes relacionados con el efecto protector de la planta ante plagas y hongos que tienen la capacidad de reducir la palatabilidad de los forrajes; los rumiantes son poco sensibles a los FAN ya que hidrolizan la mayor parte de estos componentes por medio de la microbiota ruminal. Algunos de los FAN más habituales son los taninos, saponinas, alcaloides, entre otros (Perulactea, 2014).

2.4.4 Otros factores que afectan a la calidad

Uno de los factores que más afecta la calidad de un forraje, es el momento de recolección o madurez del mismo, ya que a mayor grado de madurez, mayor será su contenido de fibra neutro detergente (FND), menor digestibilidad de materia seca y menor proporción de hojas/tallos (Perulactea, 2014)

2.5 Métodos de Ensilaje

2.5.1 Silo

Es un espacio o almacén donde se recopila o se guardan granos, pastos o forrajes picados con la finalidad de provocar una fermentación anaeróbica de la masa forrajera. En el país, existen zonas donde se tienen largos periodos de verano o sequías que terminan con los pastos. También, hay inviernos extremos y duraderos que terminan con las áreas donde el ganado se alimenta directamente de la pradera. Para compensar estos problemas, se deben utilizar los silos. Los silos para pastos pueden ser elevados sobre la superficie del suelo o pueden también ser subterráneos, también existen los temporales o permanentes (Moreno, 2012).

2.5.2 Silo trinchera

Este se construye bajo el nivel del suelo y pueden presentar pérdidas adicionales por filtración de humedad, se les conoce también, como silos de foso y silos de zanja, como su nombre lo indica es una trinchera, ya que se realiza un hueco largo y no muy profundo en el suelo, con paredes lisas e inclinadas hacia afuera. Pueden localizarse en terrenos con relieve inclinado, de preferencia cerca del establo y no muy lejos de los lotes del pasto que se quiere

ensilar. No es recomendable que se hagan en terrenos arenosos y pedregosos (Moreno, 2012).

2.5.3 Silos bunker

Son aquellos que se construyen sobre el nivel del suelo, en los cuales sus paredes y piso pueden ser de concreto o de algún otro material de la región. También se les conoce silos horizontales.

2.5.4 Silos de montón

Estos no cuenta paredes, también se les conoce como silo de pila, en los cuales, el forraje solo se amontona picado y se tapa. Aunque es un silo que presenta altos porcentajes de pérdida, es uno de los más económicos. (Moreno, 2012) Los silos horizontales (bunker y montón) deben ubicarse en sitios de piso firme, incluir en sus costos la adquisición de un plástico calibre 7 u 8 para proteger la masa forrajera del contacto con el suelo, aire, sol y agua, y además protegerlos de la entrada de animales.

2.5.5 Silos de bolsa

Se les conoce también como microsilos, estos facilitan las labores de alimentación, almacenamiento y transporte, aunque también presentan pérdidas reducidas; pueden utilizarse bolsas con capacidad para 50 o 60 kg., el calibre del plástico de estas bolsas debe ser de 7 u 8. Es una práctica muy común para el pequeño productor. (Moreno, 2012).

Para proteger la bolsa es necesario introducir esta en bolsas de polipropileno (empaques de abonos y concentrados).

2.5.6 Silos en canecas y tanques

Son aquellos donde se utilizan canecas plásticas con capacidad para 200 lts. Y tanques de 500 y 1000 lts., son de una sola inversión (muy económicos) y facilita el llenado y apisonado del forraje, son novedosos y puede resultar una buena alternativa para el pequeño productor (Moreno, 2012)

2.6 Proceso de Ensilaje

El proceso de ensilaje puede ser dividido en cuatro fases principales:

1) Aeróbica. La respiración y proteólisis por parte de las enzimas propias de la planta. Esta fase toma alrededor de 3 a 4 días, si es que se cuenta con las condiciones normales de ensilaje. Estos pueden ser reducidos optimizando la longitud de la partícula y logrando una buena compactación del material.

2) Fermentación. La acidificación es causada principalmente por el ácido láctico producido por las bacterias ácidolácticas (LAB). Esta fase toma entre 14 y 21 días. Bajo condiciones de anaerobiosis, las bacterias ácidolácticas producen cantidades imponentes de ácido láctico, haciendo que el pH reduzca, ayudando a inhibir el crecimiento de microorganismos indeseables. Las LAB pueden fermentar el sustrato homofermentativamente (solo ácido láctico) o heterofermentativamente (ácido láctico + ácido acético). Sin embargo, las LAB representan sólo entre el 0,1 al 1,0 % de la microbiota normal epifítica. Es por ello que a incrementado el uso de inoculantes bacterianos en los últimos años, para así asegurar la fermentación.

3) Estabilidad. La fase anterior se detiene debido a la falta de sustratos fermentables como los carbohidratos y, el pH permanece constante, eso según las condiciones de anaerobiosis establecidas.

4) Apertura del silo. Durante la etapa de suministro de ensilado a los animales y una vez abierto el silo, algunas capas del producto quedan expuestas al oxígeno. Los microorganismos aeróbicos como lo son las levaduras y hongos se hacen presentes, crecen y consumen la materia seca (azúcar, ácido láctico, entre otras sustancias químicas) produciendo calor y altas pérdidas. Las pérdidas de nutriente pueden ser considerablemente altas, por lo que esta fase es decisiva. Los ácidos acético, propiónico y butírico (ácidos alifáticos de cadena corta) inhiben el crecimiento de levaduras y hongos, razón por la que se utilizan inoculantes biológicos que contienen bacterias heterofermentativas. El efecto a los aditivos no depende solo del tipo de forraje que va a ser tratado, sino también del contenido de material seco (MS) (Burns et al., 2005), del contenido de azúcares y la capacidad buffer del material original (McDonald et al. 1991).

2.7 Inoculantes para Ensilados

Las características de fermentación son habitualmente mejoradas con la inoculación. Bolsen *et al.* (1995) quien reportó que la inoculación optimizó la calidad de fermentación en más del 90% de 300 ensilados analizados de alfalfa, trigo, maíz y sorgo forrajero. Independiente de la técnica para conservación de forrajes utilizada, la cantidad y calidad del material del que se dispone al final del almacenaje es siempre menor que la original. Por lo que la meta principal de la conservación de forrajes es comprimir el daño y las pérdidas de materia seca, lo cual se verá mostrado en el contenido de energía del ensilado, un factor limitante para la producción pecuaria.

Las principales características de los inoculantes incluyen: tasa de crecimiento rápida (para competir con otros microorganismos), tolerancia a bajos valores de pH, habilidad para reducir el pH rápidamente, ausencia de acción sobre los ácidos orgánicos, capacidad para tolerar un amplio rango de temperatura, habilidad para crecer en materias primas con alto contenido de

materia seca, ausencia de actividad proteolítica y habilidad para hidrolizar el almidón.

2.8 Calidad del Ensilaje

Los forrajes de alta calidad, no solo proporcionan nutrientes esenciales, sino también, ayudan a asegurar un consumo óptimo de alimento y a mantener la salud del rumen. Por lo que es fundamental darle un manejo cuidadoso al forraje, y así elevar su calidad a niveles inmejorables. (Hansen Inc, Milwaukee, WI, 2014).

Para tener forrajes ensilados de alta calidad, es importante tomar buenas decisiones de manejo e implementar buenas prácticas antes, durante y después de su obtención. Estos son algunos de los factores de manejo que el productor puede efectuar: la selección del híbrido o variedad, el tipo de la estructura para el almacenamiento, el uso de aditivos para ensilajes, las prácticas agrícolas, los métodos de cosecha y ensilaje los métodos de vaciado del silo y el manejo del comedero.

2.9 Evaluación de la Calidad del Ensilaje

Cuando exista un problema en cuanto a la calidad del ensilado, será necesario un enfoque sistemático para evaluar la situación de manera precisa. Frecuentemente solo se realiza un análisis nutricional por medio de la técnica de rayos con espectro cercano al infrarrojo (NIRS, por sus siglas en ingles), o bien la técnica química en húmedo. Hay gran cantidad de ensilajes que pueden tener una excelente calidad nutricional, pero los animales no la consumen de manera eficiente, o quizá también pueden tener algún efecto negativo sobre la rentabilidad por otras razones (Hansen Inc, Milwaukee, WI. 2014).

En el caso de la evaluación de la calidad del ensilado a nivel rancho, primeramente se debe realizar una revisión sobre el silo, la apariencia física del ensilaje incluyendo olor y color, así como también, evaluar el manejo del comedero y una conocimiento detallado sobre las prácticas de alimentación; antes que realizar un análisis de laboratorio.

2.9.1 Revisar la humedad y las tasas de descarga del silo

Se tendrá que observar la humedad que existe en el material ensilado, pues si se coloca material dentro del silo y sus niveles de humedad no son los adecuados, es muy probable causar un deterioro del ensilado. Uno de los problemas más comunes es cuando los ensilajes se colocan en las estructuras demasiado secos, permitiendo así la penetración de aire, por consecuente el crecimiento de los microorganismos como levaduras, hongos y bacterias aerobias provocando así su putrefacción. Por el contrario, cuando el material se ensila demasiado húmedo, sufre una fermentación clostridiana (en el caso de leguminosas, cereales y zacateas) o bien, presentan escurrimientos que llevan consigo cantidades importantes de nutrientes (Hansen Inc, Milwaukee, WI. 2014).

3.1 Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca (DIVMS)

El método de digestibilidad *in vitro*, se basa en su primera etapa es un sistema cerrado de fermentación, por lo que los productos de fermentación no son removidos. La fermentación se produce por microorganismos añadidos en el líquido ruminal utilizado como un inóculo. Aunque la fermentación en estas condiciones no refleja de ninguna manera lo que verdaderamente sucede en el rumen, ya que éste es un sistema abierto con condiciones muy específicas, por lo tanto, no es correcto usar el término “rumen artificial” para describir esta técnica.

En esta primera etapa se añade una solución amortiguadora con el fin de mantener el pH en alrededor de 6.9, siendo éstas las condiciones (rango 6.7 a 7.0) óptimas para que actúen las bacterias del rumen, especialmente las celulolíticas (Moore, Johnson y Dehority, 1962; Johnson, 1969)

En la segunda etapa de esta técnica se lleva a cabo una digestión con pepsina en medio ácido, añadiendo HCl. Con el objetivo principal de eliminar la proteína microbiana existente dejando únicamente la materia seca no digerida. Esta etapa tiene un efecto similar con lo que sucede en el abomaso.

Es importante señalar que la DIVMS no considera la digestión intestinal y aún más importante en este método se toma en cuenta la excreción endógena producida en el animal. Considerando esta situación, se recomienda que esta técnica sea utilizada para predecir el valor nutritivo de alimentos vegetales, especialmente forrajes, así como para estudiar factores que afectan la digestibilidad de los mismos; sin embargo, no debe utilizarse para evaluar los factores que presenten una fuerte interacción con lo sucedido *in vivo* (Moore, Johnson y Dehority, 1962; Johnson, 1969).

3.2 Digestibilidad

La definición más simple de digestibilidad es: “la medición de la cantidad de nutrimentos que después de pasar por un tubo digestivo no aparecen en las heces”. El objetivo esencial de la determinación de la digestibilidad se ve relacionado con la evaluación comparativa de alimentos, ya sea de dietas completas o de los ingredientes que la componen. El valor comúnmente utilizado es el “coeficiente de digestibilidad aparente” y se expresa como porcentaje de materia seca (Garza, 2004). La fórmula y principios generales son los siguientes:

$$\text{➤ Digestibilidad, \%} = \frac{\text{lo consumido} - \text{lo excretado}}{\text{Lo consumido}} \times 100$$

El principio y procedimiento anteriores son válidos para establecer el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca y también de los componentes químicos de los alimentos, como la proteína, fracciones de fibra, etc. Ejemplos:

$$\text{➤ Digestibilidad, \%} = \frac{\text{MS consumida} - \text{MS excretada}}{\text{MS consumido}} \times 100$$

Para componentes químicos en particular se puede utilizar la misma fórmula anterior, reemplazando el término de MS por el componente de que se trate o bien utilizando la siguiente fórmula de trabajo:

$$\text{➤ DX, \%} = \frac{(XA - XH) + XH (DMS)}{XA}$$

Dónde: DX%= Digestibilidad del componente "X".

DMS= Digestibilidad de la materia seca.

XA= Porcentaje del componente X en el alimento.

XH= Porcentaje de componente X en las heces.

Ejemplo: Digestibilidad de paredes celulares (FDN) en un forraje, FDNA = 50%.
FDNH = 60%, DMS = 60%

$$\text{DFDN, \%} = \frac{(50 - 60) + 60 (.60)}{50} = 52\%$$

Los coeficientes de digestibilidad que comúnmente se manejan en la literatura, en tabla de composición de alimentos y en informes de experimentos son valores de digestibilidad aparente. El concepto de digestibilidad verdadera es un concepto teórico; para su determinación sería necesario hacer una diferenciación de componentes que apareciendo en las heces no son de origen alimenticio directo, sino más bien de origen metabólico, sin embargo, en teoría, la digestibilidad de componentes como la FDN, son digestibilidades verdaderas, ya que, no puede haber FDN de origen metabólico. De esta forma se ha

intentado determinar la digestibilidad verdadera a través de la cuantificación de las paredes celulares en heces y considerar que el material desaparecido en el proceso es de origen metabólico o bacteriano, el procedimiento es válido cuando se trabaja sólo en base a materia orgánica (libre de minerales). El coeficiente de digestibilidad no es la medida ideal para indicar el valor nutritivo de un alimento, Sin embargo, refleja en gran medida el nivel de aprovechamiento que se puede esperar de los alimentos y nutrientes proporcionados al ganado y constituye una información de mucho mayor valor que el simple análisis químico proximal (Garza, 2004). Al utilizar o determinar valores de digestibilidad aparente, debemos tomar en cuenta algunas limitaciones o defectos de estos valores, en forma resumida:

- Refleja solamente la calidad de la digestión de los animales utilizados en la determinación.
- La medida es específica para el tipo y condiciones del alimento o ingredientes utilizados en la determinación.
- No se consideran factores de corrección que consideran el manejo especial a que son sometidos los animales en experimentación.
- Con ciertos nutrientes no se pueden evaluar debido a los intercambios de éstos en el tubo digestivo (p. ej. minerales)
- Existen fracciones de alimentos no se pueden evaluar o determinar correctamente por falta de técnicas adecuadas de laboratorio.

3.3 Formas de Determinar la Digestibilidad

Se conoce como determinación de digestibilidad al conjunto de técnicas de procedimientos de campo, de laboratorio, matemáticos y/o estadísticos, encaminados a encontrar los coeficientes de digestibilidad de los alimentos o sus componentes (Garza, 2004). Existen varias maneras o métodos para realizar la determinación de la digestibilidad, todos ellos son variantes del principio fundamental anotado anteriormente, pero el tipo de

alimento, de animales, de equipo, entre otros, condiciona al investigador a utilizar distintos procedimientos para lograr los resultados esperados. Las variantes más utilizadas, descritas brevemente, son las siguientes:

3.3.1 Digestibilidad simple. Se le llama así a aquella prueba en la que se determina el coeficiente de la digestibilidad de una dieta o forraje sin pretender obtener información acerca del comportamiento o características de los componentes de la dieta. Se recomienda y se utiliza como partes de la evaluación de forrajes (gramíneas o leguminosas) de buena calidad y de adecuado consumo para cubrir al menos los requerimientos de mantenimiento de los animales experimentales. El forraje se puede ofrecer fresco, henificado o ensilado, tratando de reproducir la forma en que el material se proporciona en condiciones de campo y teniendo especial cuidado de manejar en forma correcta los valores de humedad del alimento proporcionado (Garza, 2004).

3.3.2 Digestibilidad por diferencia. La mayoría de los ingredientes que normalmente se incluyen en la dieta de los animales no tiene una composición químico-nutritiva adecuada para cubrir los requerimientos mínimos de mantenimiento o bien de los consumos de estos ingredientes no son suficientes para proporcionar un nivel nutricional superior al de mantenimiento. Tanto en condiciones de campo como en experimentos se hacen mezclas de ingredientes o de alimentos para lograr que la dieta total tenga una composición y consumo voluntario que corresponden al nivel de nutrición deseado. Los forrajes toscos, altos en fibra, se adicionan de concentrados y cuando la dieta base es un concentrado bajo en fibra se adiciona un forraje tosco para dar el volumen y consistencia adecuada para propiciar un proceso de digestión normal en los rumiantes. El método de digestibilidad por diferencia tiene a su vez variantes, que dependen básicamente de las características de los ingredientes por evaluar (Garza, 2004).

En general, podemos considerar que el método consta de dos fases que son:

- Determinación de la digestibilidad de un forraje de buena o mediana calidad, y
- Realizar una segunda prueba con una mezcla de forraje ya evaluado con el concentrado o ingrediente problema y calcular por diferencia los valores para este último.

Este tipo de metodología puede ser útil para la estimación de forrajes tropicales, de esquilmos agrícolas subproductos agro-industriales. Estas fuentes forrajeras tienen como características nutricionales una o varias de las siguientes condiciones:

- Bajo valor proteico, déficit en el valor energético, baja digestibilidad, elevada proporción de paredes celulares, limitaciones en su consumo, presencia de compuestos antinutricionales o tóxicos, entre otros.

El cálculo de digestibilidad por diferencia se pueden hacer cuadros muy diversos, utilizando cifras absolutas (gramos) o relativas (%) o la combinación de ambas, se pueden agregar cuantos renglones ayuden a simplificar el manejo de los datos y cifras, pueden incluirse todas las determinaciones de nutrimentos y fracciones químicas que se analicen en el laboratorio. Este método tiene limitaciones muy importantes, la que más destaca es la falta de un factor de corrección para compensar los cambios por “digestibilidad asociativa” (Garza, 2004).

3.3.3 Por ecuaciones simultáneas. Este y otros métodos semejantes pero menos utilizados, son en realidad variantes de la digestibilidad por diferencia, tienden a eliminar el error por “digestibilidad asociativa” ayudando de encontrar valores más reales para los ingredientes en estudio. El método consiste

también en realiza dos pruebas de digestibilidad en las que se cambia la proporción de forraje-concentrado o forraje-ingrediente problema (Garza, 2004).

3.4 Factores que Afectan la Digestibilidad

Son muchos factores que pueden afectar la digestibilidad de una dieta o de un ingrediente; pueden ser intrínsecos del alimento y de su procesamiento o bien relacionados con sujetos experimentales o con particularidades propias del experimento (Garza, 2004). Aquí algunos de los mas sobresalientes.

3.4.1 Nivel de alimentación

Existen varios factores que afectan la digestibilidad, como lo es el caso del nivel de alimentación, pues este indica la cantidad comparativa de nutrimentos la cantidad comparativa de nutrimentos que recibe un animal según los requerimientos establecidos para su mantenimiento.

3.4.2 Composición del alimento

Es uno de los factores que más afectan la digestibilidad. La cantidad y calidad de nutrimentos específicos y la relación que entre ellos guardan en un alimento dado, son los que determinan la digestibilidad.

3.4.3 Utilización de antibióticos

Por lo regular, los antibióticos no tienen efectos significativos sobre la digestibilidad de alimentos. El efecto promotor de desarrollo que se atribuye a antibióticos como tetracilinas no se relaciona con la digestibilidad de los alimentos en forma directa

3.4.4 Procesado de alimentos

Algunos procesos de acondicionamiento que sufren los alimentos modifican su grado de utilización por parte de los animales que los consumen.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.5 Ubicación del área de estudio

El análisis químico se efectuó en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Municipio de Saltillo, Coahuila. El cual se encuentra en las coordenadas de 25°21'06.3"N 101°02'06.9"W. Con una altitud de 1742 msnm. Teniendo una temperatura media anual de 19.8 °C y una precipitación total media anual de 298.5mm. Cuenta con un tipo de clima muy seco, con invierno fresco y extremoso con lluvias en verano y una precipitación invernal superior de 10% del total anual. Con una humedad relativa que alcanza es de 80% en los meses lluviosos y el 30 % en los periodos secos como promedio.

3.6 Siembra

La siembra se realizó el día 15 de junio de 2019, en un área de 1600m², con una distancia de 20cm entre planta y una densidad de 20 plantas por m² teniendo 80cm de distancia entre cada surco. Se utilizó maíz forrajero (Zea mays) Var. Ares, Unisem®, con riegos cada 5 días, a capacidad de campo. Se fertilizó a los 20 días después de la siembra, aplicándose 84kg/Ha de 171717, 4kg/Ha de Fosfato Monoamoniaco (MAP) y 3.5kg/ha de Ultrasol® micro. También, se realizó un control biológico, contra el gusano cogollero (*Helicoverpa zea*) a los 29 días de siembra, y un segundo control a los 36 días dds.

3.7 Cosecha

Se realizaron tres cortes, siendo a los 97 días la primera cosecha, la segunda a los 104 días, y por ultimo a los 111 días después de la siembra.

3.8 Ensilaje

Se ensilaron los materiales en silo de bolsa, utilizando una ensiladora neumática e bote, el proceso de ensilado se dejó por 60 días y posteriormente se tomaron muestras de cada tratamiento y repetición.

3.9 Muestreo

Se evaluó un variedad de maíz forrajero (*Zea mays*) Var. Ares, Unisem® a tres fechas de corte (97,104 y 111 días). Estos materiales después de ser cosechados fueron ensilados en bolsa, para luego de 97 días obtener las muestras del ensilado. Una vez tomadas las muestras, estas se llevaron al laboratorio de nutrición animal, para obtener la Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca, la cual se desarrollo por el método de Incubadora Daysi en bolsa para filtrar F57.

4.1 Metodología

Digestibilidad in vitro con Incubadora DAISYII Tecnología ANKOM – 1/24/17

4.1.1 Reactivos

a) Solución Buffer A:	g /litro
• KH_2BPO_4	10.0
• $\text{MgSO}_4\text{B}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5
• NaCl	0.5
• $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.1
• Urea (grado del reactivo)	0.5
(b) Solución Buffer B:	
• Na_2CO_3	15.0

- $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 1.0

(c) Solución Detergente Neutra

4.1.2 Procedimiento

A) Preparación de bolsas de filtro y muestra.

a) Preparar las bolsas para filtrar en acetona de 3 a 5 min y complete el tiempo con aire seco. La acetona enjuaga y remueve una superficie que inhibe la digestión microbiana.

b) Por cada bolsa para filtrar F57, y registre su peso (W1)

c) Poner en cero la balanza y pesar directamente en el filtro 0.25 gr de muestra (W2)

Nota: Una muestra con tamaño de 0.5 gr en una digestión de 48hrs es aceptable de acuerdo a estudios recientes. De cualquier modo usando 0.25 gr de muestra colocarla en la bolsa y sellada al calor e introducirla al frasco digestor en el cual caben 25 muestras las cuales deben estar distribuidas por ambos lados del divisor plástico del frasco.

Colocar también una bolsa sellada esta era el blanco que se utilizara como factor de corrección (CI)

B) Preparación de la mezcla de solución Buffer: (Para cada frasco digestor)

a) Pre caliente a (39° C) ambas soluciones (A y B) en recipientes separados.

b) Agregue 266 ml de solución B a 1330 ml de la solución A proporción (1 : 5)

- c) La cantidad exacta de A y B debe ser ajustada con la solución B, al obtener un pH de 6.8 a 39°C. No más arriba de 6.8, el ajuste del pH es necesario.
- d) Agregue 1600 ml de la mezcla D y B a cada frasco que continúe las bolsas con la muestra.
- e) Coloque los frascos ya con muestras y la solución Buffer dentro de incubadora DEISY y active el botón de la temperatura y el agitador.
- f) Equilibre la temperatura de los frascos de digestión déjanoslo por un mínimo de 20 a 30 minutos. Este tiempo lo puedes usar para la colección y preparación del inculo del rumen.

C) Preparación del inculo e inculcación

- a) Mantener todo el material de cristal a 39° C.
- b) Pre caliente 2 termos de capacidad de 2 lt con agua a 39°C, vacié al agua caliente justo antes de la colección del rumen inoculado.
- c) Usando el procedimiento adecuado para la colección tire los dos litros de agua a 39°C de los termos para poder agrega el inculo del rumen a los termos.
- d) Agregar aproximadamente dos puñados de material fibroso del rumen con su colección en uno de los termos.
- e) Vacía el inculo del rumen de los termos dentro del recipiente agitador.
- f) Purga el recipiente agitador con gas CO₂ y mézclalo en una velocidad alta por 30 segundos, la acción de mezclar sirve para desalojar microbios que son agregados al material y así asegurar una población representativa de la fermentación in vitro.
- g) Filtrar la mezcla digerida dentro de un matraz de 5 lt (pre calentado a 39°) a través de 4 capas de gasa.
- h) Filtre el fluido del rumen restante de los otros termos a través de 4 capas limpias de gasa en el mismo matraz de 5 lt.

Nota: Deje gasa extra el rededor de la orilla que facilite exprimir el contenido del material filtrado.

El matraz debe estar continuamente purgado con CO₂ y continuar purgando durante la transferencia del inculo.

i) Mida 400ml del inculo del rumen en un cilindro graduado y agréguelos a uno de los frascos digestores en el cual se encuentra la solución buffer y las muestras, purgue el frasco digestor con gas CO₂ por 30 segundos, cierre y asegure bien la tapa.

j) Repita el proceso para todos los frascos digestores que usted use.

Nota: No permita que el gas CO₂ haga burbujas a través de inculo buffer, se sugiere que se use CO₂ en forma gaseosa y lo aplique colocando una manta encima del contenido del frasco.

k) Incubación (confirme que los botones de la temperatura y la agitación estén encendidos).

La determinación in vitro en periodo de 48hrs los resultados son confiables. El incubador DEISY se mantiene a una temperatura de 39° + - 0.5.

l) Al completar la incubación, remueva la jarra y tire el fluido, enjuague las bolsas minuciosamente con agua fría y golpee ligeramente en el agua hasta que queden limpias.

Nota: Use un mínimo de agitación mecánica.

m) Coloque las bolsas enjuagadas dentro del analizador de fibra ANACOM 200/220 y siga el procedimiento para determinar fibra detergente neutro.

n) Registre el peso de la bolsa al salir de la digestión in vitro como W3 para usarlo en la formula siguiente.

El análisis de Fibra Detergente Neutro remueve el desecho microbial y algunas fracciones solubles restantes.

Nota: Las bolsas pueden ser almacenadas en el refrigerador o congelador, hasta que la determinación de FDN pueda ser realizada.

4.1.3 Cálculos:

$$\% \text{DIV} = 100 - \frac{(W3 - (W1 \times C1)) \times 100}{W2}$$

W2

$$\% \text{DIV} = 100 - \frac{(W3 - (W1 \times C1)) \times 100}{W2 \times Ms}$$

W2 x Ms

Dónde:

W1= peso de la bolsa tarada.

W2 = peso de la muestra.

W3= peso final de la muestra después de la digestión in vitro y consecutivo de determinación de FDN.

C1= Corrección de la bolsa blanco (blanco) (peso original de la bolsa / peso final)

Ms = % de materia seca

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio se muestran en el cuadro 4.1, en este se aprecia que hubo diferencia estadística ($P < 0.05$) para todas las variables de respuesta en función a los días al corte del maíz (Ares, Unisem®).

Cuadro No. 4.1 Medias de tratamiento para la DIVMS (Medias \pm DE) de ensilado de maíz con relación a fecha de corte.

Tratamiento Corte (días)	DIVMS (%)	FC (%)
97	59.24 \pm 1.10 A	25.22 \pm 0.25 A
104	54.21 \pm 1.25 B	32.48 \pm 4.47 B
111	48.03 \pm 6.56 C	36.52 \pm 0.97 B

Medias con distinta literal, difieren significativamente ($P < 0.05$).

La Digestibilidad *In Vitro* de Materia Seca (DIVMS) resultó diferente estadísticamente para todos los cortes ($P < 0.05$), obteniendo una mayor digestibilidad para el corte a 97 días (59.24%), mientras que al aumentar los días al corte a 104, se disminuye su DIVMS (54.21%) así mismo para los días 111 (48.03%). La figura 4.1 muestra la relación que existe entre la DIVMS y los días al corte del ensilado de maíz (*Zea mays*) Var. Ares, Unisem®, mostrando que existe una relación inversamente proporcional entre los días al corte y la DIVMS, es decir, a mayor días al corte, menor porcentaje de DIVMS, tal vez debido a la maduración de la planta y a que con ello se incrementa el contenido de fibra cruda (FC) haciendo más indigestible el ensilado de maíz.

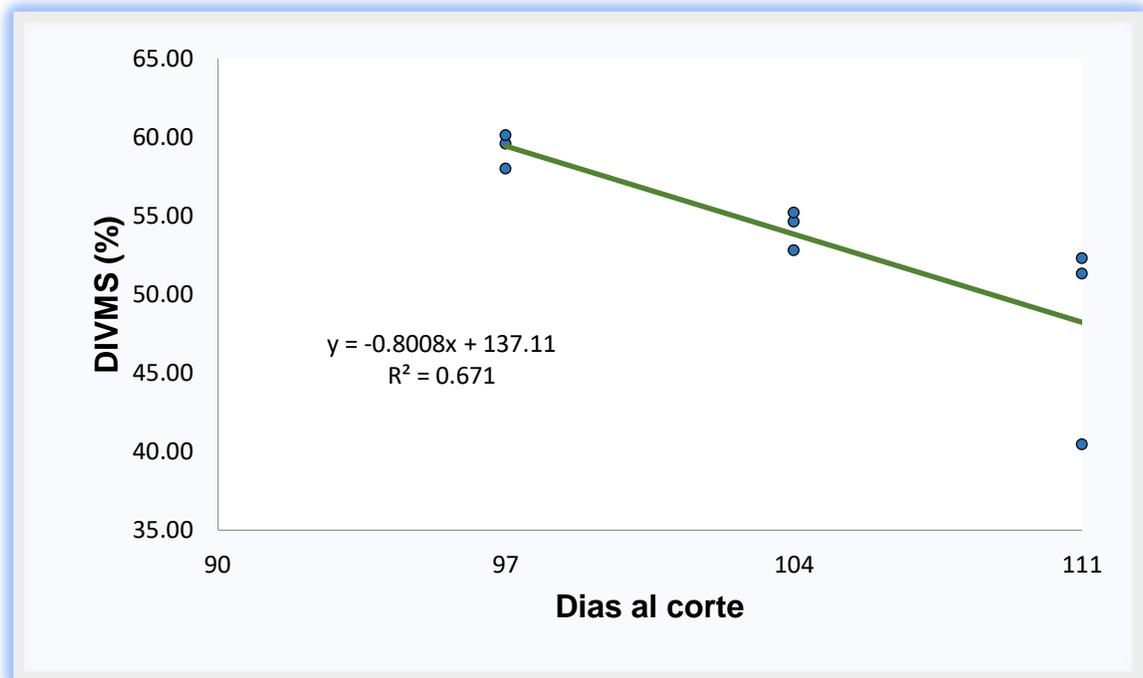


Figura No. 4.1 Relación entre la Digestibilidad In Vitro de la materia seca (DIVMS) y los días al corte del ensilado de maíz forrajero (*Zea mays*) Var. Ares, Unisem®.

Los valores obtenidos en esta investigación, presentan un efecto similar al reportado por otros autores. Como es el caso de Navarro *et al.* (2011), que reporta una digestibilidad *in vitro* con valor de 60% a 60 días de corte con pasto king grass (*Pennisetum purpureum*). Mientras que Calvero Razz (2009) con un pasto maralfalfa y a una edad de corte de 21, 42 y 63 días, reporta valores de 62.45, 55.75 y 52.10%, respectivamente, mostrando un comportamiento similar, por otro lado Sosa *et al* (2006), realizaron una digestibilidad *in vivo* de muestras de pasto maralfalfa (*Pennisetum sp*) utilizando cabras y obtuvieron un valor de 68.11% de DIVMS a los 70 días; lo que nos lleva a considerar la idea de que cuando la planta está en una edad temprana de maduración, sus niveles de celulosa, hemicelulosa y lignina son carecentes lo que provoca que sus nutrientes y digestibilidad se vean mayormente reflejados. Por el contrario, cuando la edad es avanzada, los niveles de carbohidratos estructurales incrementan, haciendo que su DIVMS disminuya. Esto sucede, por la estrecha relación que existe entre el contenido de fibra, mismo que se relaciona con la etapa de maduración en la que se realiza el corte.

Al respecto, podemos observar en la figura 4.2, que existe una estrecha relación entre el contenido de FC y la DIVMS, donde a mayor porcentaje de FC menor será la DIVMS. Esto mismo se aprecia en el cuadro 4.1, donde se observa que las medias de corte a 97 d (25.22 %) son diferentes ($P < 0.05$) con respecto a los 104 y 111 d (32.48 y 36.52, respectivamente), siendo éstos últimos, iguales entre sí ($P > 0.05$).

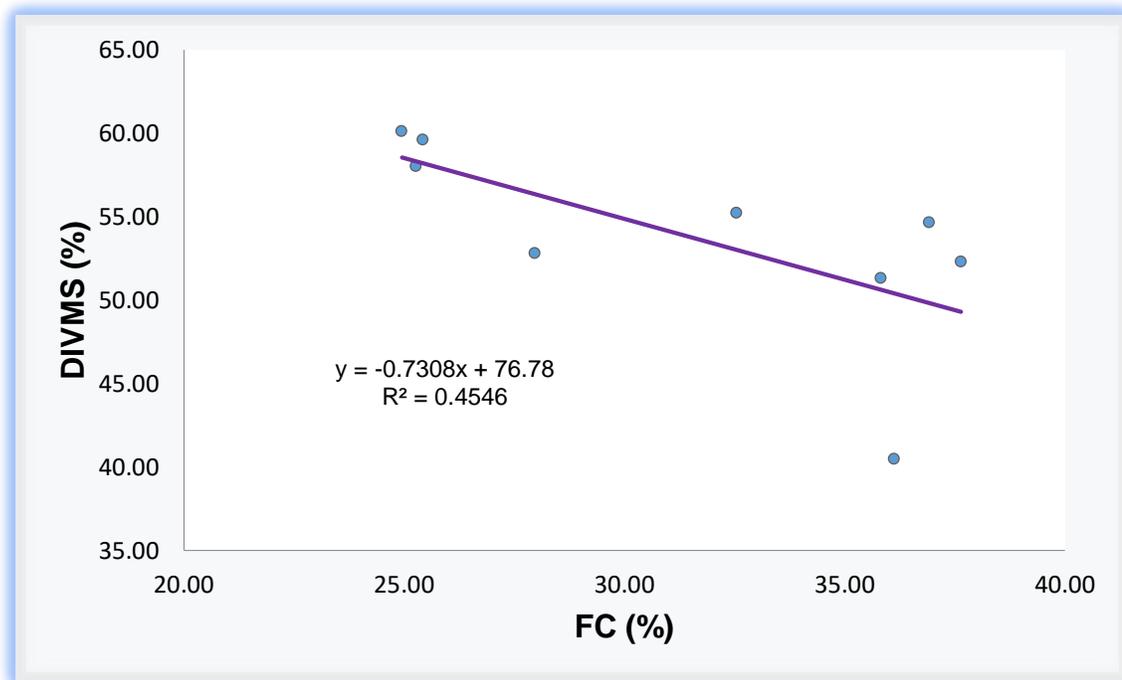


Figura No. 4.1 Relación entre la fibra cruda (FC) y la Digestibilidad In Vitro de la materia seca a 3 fechas de corte del ensilado de maíz (Ares, Unisem®).

En relación al porcentaje de fibra cruda (FC) que se obtuvieron en esta investigación, podemos observar que existe un efecto similar en comparación al de otros autores, como es el caso de González (2008), que reporta un porcentaje de FC en forraje de sorgo blanco (VANSB – 2000) observando que conforme se incrementa el contenido de FC (de 23.7% a 28.4%) el porcentaje de DIVMS decrece (de 59.4, a 57.9%).

V. CONCLUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se concluye que el estado fenológico del maíz (*Zea mays*) Var. Ares (Unisem®) a tres fechas de corte, afecta negativamente el porcentaje de digestibilidad, de tal manera que, a mayores días al corte, menor será la DIVMS. Así mismo, se concluye que existe una estrecha relación entre el contenido de FC y la DIVMS, es decir, a mayor contenido de FC, menor será el porcentaje de DIVMS. Finalmente, se recomienda cosechar dicha variedad de maíz a 97 d para obtener la mejor disponibilidad de nutriente y que estos beneficien en mayor medida al animal que los consuma.

VI. LITERATURA CITADA

- Fideicomiso de Riesgo Compartido. (17 de 05 de 2017). *La Ganadería en México*. Obtenido de Fideicomiso de Riesgo Compartido:
<https://www.gob.mx/firco/articulos/la-ganaderia-en-mexico?idiom=es>
- FIRA. (2016). *Panorama Agroalimentario*. Mexico.
- Fundacion Española para el Desarrollo de la Nutricion Animal. (s.f.). *Ensilado de Maíz*. Obtenido de Fundacion Española para el Desarrollo de la Nutricion Animal: <http://www.fundacionfedna.org/forrajes/ensilado-de-ma%C3%ADz#:~:text=El%20ensilaje%20es%2C%20en%20la,de%20la%20calidad%20del%20forraje>.
- Moreno, J. (22 de 04 de 2012). *Forrajes*. Obtenido de Métodos de ensilaje:
<http://forrajesjuanmoreno.blogspot.com/p/metodos-de-ensilaje.html>
- Perulactea. (05 de 12 de 2014). *Parametros para Evaluar la Calidad de Los Forrajes*. Obtenido de Perulactea:
<http://www.perulactea.com/2014/12/05/parametros-para-evaluar-la-calidad-de-los-forrajes/>
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (07 de septiembre de 2020). *Maíz forrajero, tambien es maíz*. Obtenido de
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-forrajero-tambien-es-maiz>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (7 de Septiembre de 2020). *Maíz forrajero, tambien es maíz*. Obtenido de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-forrajero-tambien-es-maiz>
- Servicios Técnicos Chr Hansen Inc, Milwaukee, WI. (2014). *Lecheria*. Obtenido de Evaluando la calidad del ensilaje:
<https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/evaluando-calidad-ensilaje-t31288.htm>
- Duffey, E., M.G. Morris, J. Sheail, L. Ward, D. A. Wells & T. C. E. Wells, 1978. *Grassland ecology and wildlife management*, London Chapman & Hall, Inglaterra, 281 pp.
- Hernández-X., E. & A. Ramos-Sánchez, 1987, "Mejoramiento de las plantas forrajeras en México", en Xolocotzia II, E. Hernández X., (ed.). *Revista de Geografía Agrícola*, Universidad Autónoma de Chapingo, México, pp. 533-551.
- Mejía-Saulés, M. T. & P. Dávila. 1992. *Gramíneas útiles de México*, Cuadernos del Instituto de Biología 16, UNAM, México, 298 pp.

- Pohl, R. W., 1986, "Man and the grasses: a history" en Grass systematics and evolution, T. R. Soderstrom, K. W., Hilu, C. S. Campbell & M. E. Barkworth (eds.), Smithsonian Institute, Washington, pp. 355-358.
- Rzedowski, J., 1975, An ecological and phytogeographical analysis of the grasslands of Mexico, *Taxon* 24(1): 67-80.
- Sullivan, J., T. & H. L. Wilkins, 1948. "What makes a nutritious forage?" en Grass. The yearbook of agriculture, A. Stefferud (ed.). U.S.D.A. Department of Agriculture, Washington, pp. 285-289.
- Bolsen, K. K. ; Ashbell G. y Wilkinson J. M. (1995): Silage aditives. In: Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding. Edited by R. J. Wallace and A. Chesson. Weinheim: 33-54
- Servicios Técnicos Chr Hansen Inc, Milwaukee, WI. (2014). *Lecheria*. Obtenido de Evaluando la calidad del ensilaje: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/evaluando-calidad-ensilaje-t31288.htm>
- Federico Rodriguez Garza, G. L. (2004). Digestibilidad, Balance de Nutrientos, y Patrones de Fermentación Ruminal. En G. L. Arturo Castellanos Ruelas, *Manual de Técnicas de Investigación en Ruminología* (págs. 96-124). México.
- González, G. A. *Caracterización nutritiva del forraje de sorgo blanco (VANSB - 2000) en diferentes estados fenológicos [tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]*. repositorio institucional.
- Lima, E. C. *Análisis bromatológico de cinco forrajeras introducidas para determinar su aporte en la alimentación del ganado [tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]*. repositorio institucional, Bolivia.
- Rodríguez, P. G. *Efecto de la adición de un producto peletizado elaborado a base de subproductos agroindustriales sobre los coeficientes de digestibilidad, parámetros energéticos y balance de nitrógeno en ovinos [tesis de licenciatura, UAAAN]*. repositorio institucional.