



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS
NUTRICIAS DE DISTINTOS HÍBRIDOS DE MAÍZ ENSILADO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

P R E S E N T A

WILDER ALEJANDRO GUZMÁN REYES

TUTOR PRINCIPAL: Francisco Alejandro Castrejón Pineda

COMITÉ TUTORAL: Sergio Ángeles Campos

Pedro Arturo Martínez Hernández

MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mi hijo Jesús Edain por darme las fuerzas para no rendirme.

A Liliana por la paciencia y apoyo que ha tenido para poder terminar mis estudios de posgrado.

A mis padres Bartolo y Concepción por su gran apoyo y motivación para poder lograr mis objetivos.

A todas las personas que han confiado en mí.

Y a todas aquellas personas que se esfuerzan por lograr sus objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de estar vivo y seguir adelante en mi vida.

A mis padres por su gran apoyo y aliento para no rendirme y siempre seguir adelante.

A mí hijo Jesús Edain y a Liliana por su paciencia y apoyo en momentos difíciles.

Al Doctor Francisco Castrejón por la confianza, apoyo, paciencia y conocimientos que me brindo para realizar mis estudios de posgrado.

Al Doctor Pedro Arturo por su valiosa y desinteresada ayuda, por sus conocimientos y tiempo brindado para la realización de esta tesis.

Al Doctor Sergio Ángeles por brindarme la oportunidad de trabajar en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica y apoyarme para realizar los análisis de laboratorio.

A mis amigas Diana y Minelia por su valiosa amistad y ayuda que me brindaron.

Al personal del Laboratorio de Nutrición Animal y Bioquímica, en especial al técnico Fermina por su valiosa ayuda.

Al los miembros del jurado por el tiempo dedicado a este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), institución de la cual me da orgullo pertenecer.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

RESUMEN

El maíz ensilado es un componente importante en la alimentación del ganado rumiante. El objetivo del estudio fue determinar la composición nutricia de ensilados de maíz de diferentes híbridos comerciales. Los componentes nutricios fueron: materia seca (MS); proteína cruda (PC); extracto etéreo (EE); fibra detergente neutro (FDN); digestibilidades de las materias seca (DMS) y orgánica (DMO) y de la fibra detergente neutro (DFDN); razón hoja+tallo:grano; almidón total; energías digestible y metabolizable; así como el total de nutrientes digestibles. Las digestibilidades se compararon a 30 y 48 horas de fermentación. El análisis estadístico fue con ANDEVA´s agrupando por híbrido con un modelo completamente al azar y de 2 a 6 repeticiones ya que se contaba con pocas muestras de material ensilado. Se desarrolló una matriz de correlaciones entre los componentes nutricios, los ensilados se agruparon por contenidos de PC, FDN y almidón, usando los grupos como tratamientos en lugar de híbrido para identificar efecto en la calidad nutricia por contenido de nutriente. Los resultados en la calidad nutricia mostraron efecto ($P < 0.05$) del híbrido, destacando Puma por el mayor contenido de MS (40%), Cebú por el de PC (8.8%) y MD8U81 por el de EE (8.67%). El contenido de MS mostró la máxima correlación ($r = -0.71$) con PC; FDN con DFDN ($r = 0.91$); y grano con DFDN ($r = -0.49$). Al agrupar por FDN se detectaron diferencias ($P < 0.05$) en calidad nutricia, la tendencia fue a registrar mayores DMS, DMO y DFDN conforme aumentaba FDN. Asimismo, un mayor tiempo de fermentación aumentó ($P < 0.05$) las DMS DMO y DFDN. Se concluyó que la calidad nutricia del ensilado de maíz depende del híbrido de maíz usado y del contenido de FDN.

Palabras clave: Maíz, materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro, digestibilidad, ensilado.

ABSTRACT

Maize silage is an important component in the feeding of ruminant livestock. The objective of this study was to determine nutrient composition of maize silage in different commercial hybrids. Nutrient components were: dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), digestibility of dry matter (DMD) and organic (OMD) and neutral detergent fiber (NDFD), leaf + stem ratio grain, starch total, digestible and metabolizable energy, and total digestible nutrients. Digestibility was also compared to 30 and 48 hours of fermentation. Statistical analysis was utilized, with ANOVA's grouping by hybrid with a completely randomized design with 2 to 6 repetitions, we developed a matrix of correlations between nutrient components, the silages were grouped by CP, NDF and starch, using groups such as treatment instead of hybrid. The nutritional quality show effect ($P < 0.05$) of the hybrid, Puma was the most highest in DM content (40%), Cebu for the PC (8.8%) and MD8U81 by the E.E. (8.67%). DM content showed the highest correlation ($r = -0.71$) with PC, NDF with NDFD ($r = 0.91$), and grain with NDFD ($r = -0.49$). The group differences were detected for NDF ($P < 0.05$) in nutritional quality, the trend was to higher DMD, OMD and NDFD with increasing NDF. A longer time of fermentation increased ($P < 0.05$) the DMO DMS and NDFD. It was concluded that the nutritional quality of corn silage maize depends on the hybrid used and content of NDF.

Keywords: corn, dry matter, crude protein, neutral detergent fiber, digestibility, silage.

	Contenido	Página
RESUMEN		III
ABSTRACT		IV
1. INTRODUCCIÓN		1
2. REVISIÓN DE LITERATURA		5
2.1. Maíz		5
2.1.1. Ensilaje de maíz		5
2.1.2. Proceso del ensilaje		7
2.1.3. Características del ensilado		10
2.1.4. El pH del ensilado de maíz		11
2.2. Ácidos grasos volátiles en el ensilado		11
2.2. 1. Ácido láctico		11
2.2.2. Ácido acético		12
2.2.3. Ácido propiónico		12
2.2.4. Ácido butírico		13
2.3. Amoniacó		14
2.4. Etanol		14
2.5. Factores que afectan una correcta fermentación		16
2.5.1. Madurez del maíz y momento de la cosecha		16
2.5.1.1. Criterios para determinar el estado de madurez		16
2.5.2. Capacidad amortiguadora		19
2.5.3. Carbohidratos solubles y contenido de grano en el ensilado		19
2.5.4. Tamaño de partícula		20
2.5.5. Llenado, compactado y tapado del silo		21
2.6. Efluentes durante el proceso del ensilaje		22
2.7. Calidad del ensilado		22
2.7.1. Valor nutritivo		22
2.7.2. Proteína cruda		22
2.7.3. Digestibilidad		24

2.7.4. Fibra detergente neutro	25
2.8. Elementos para obtener una buena producción	25
2.8.1. Híbrido de maíz para ensilado y su efecto en las características nutricias	25
2.8.2. Fecha de siembra	27
2.8.3. Densidad de población	28
2.8.4. Fertilización del cultivo	28
2.9. Eficiencia de utilización del ensilado de maíz en la alimentación de rumiantes	29
3. JUSTIFICACIÓN	31
4. HIPÓTESIS	32
5. OBJETIVOS	33
6. MATERIALES Y MÉTODOS	34
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
8. CONCLUSIONES	67
9. BIBLIOGRAFÍA	68

Índice de cuadros	Página
Cuadro 1. Fases del proceso de ensilaje	9
Cuadro 2. Características físico químicas del ensilado de maíz	15
Cuadro 3. Porcentaje de humedad en diferentes tipos de silo	18
Cuadro 4. Híbridos comerciales de maíz y lugar de procedencia usados en el estudio de la calidad nutrimental del material ensilado	35
Cuadro 5. Componentes nutrimentales del material ensilado de 15 maíz híbrido	43
Cuadro 6. Correlaciones de los componentes nutrimentales de 15 ensilados de maíz híbrido	49
Cuadro 7. Composición nutrimental de 15 ensilados de maíz híbrido, agrupados por contenido de fibra detergente neutro	51
Cuadro 7 continuación. Digestibilidad y estimaciones de energía de 15 ensilados de maíz híbrido, agrupados por contenido de fibra detergente neutro	52
Cuadro 8. Composición nutrimental de 15 ensilados de maíz híbrido, agrupados por contenido de proteína cruda	54
Cuadro 8 continuación. Digestibilidad y estimaciones de energía de 15 ensilados de maíz híbrido, agrupados por contenido de proteína cruda	55
Cuadro 9. Composición nutrimental de 15 ensilados de maíz híbrido, agrupados por contenido de almidón	57
Cuadro 9 continuación. Digestibilidad y estimaciones de energía de 15	58

ensilados de maíz híbrido, agrupados por contenido de almidón	
Cuadro 10. Digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro de 15 ensilados de maíz híbrido.	60
Cuadro 10. Continuación tiempo de digestibilidad a 30 y 48 horas de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro de 15 ensilados de maíz híbrido.	61
Cuadro 11. Digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro de ensilados de maíz híbrido, agrupados de acuerdo al contenido de proteína cruda.	63
Cuadro 12. Digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro, de ensilados de maíz híbrido, agrupados de acuerdo al contenido de fibra detergente neutro	64
Cuadro 13. Digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro de ensilados de maíz híbrido, agrupados de acuerdo al contenido de almidón	65
Cuadro 14. Digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro, de ensilados de maíz híbrido agrupados por origen.	66

1. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cinco cultivos más importantes en el mundo y es usado ampliamente para alimentación humana y animal. La planta completa se utiliza principalmente como ensilado de maíz en alimentación de rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos), por sus altos rendimientos de materia seca (MS) por unidad de superficie y su aporte nutrimental lo hace un alimento de alto valor energético y de aceptable palatabilidad (Roth y Undersander, 1995). Debido a su importancia, durante los últimos años se han hecho esfuerzos para desarrollar y caracterizar híbridos de maíz a nivel comercial para su utilización como ensilado en la industria lechera. En este sentido, se han hecho mejoras en cuanto a la calidad y productividad de estas variedades; sin embargo, la decisión para el uso de algún híbrido es compleja, ya que existe mucha variación en cuanto a la producción de MS, y la calidad de esta, los cuales son factores importantes para seleccionar el híbrido de maíz con las mejores características para la producción de proteína de origen animal (Lauer *et al.*, 2000; Thelen *et al.*, 2000).

En la actualidad, la crisis económica afecta la producción de alimentos de origen pecuario, siendo uno de ellos la leche, ya que provoca un aumento en el precio de los insumos utilizados en la alimentación de bovinos, que a su vez impacta los costos de producción. Aunado a esto, la importación de leche hace que el productor absorba las pérdidas por el bajo precio del producto.

En cuanto a la alimentación de bovinos especializados en producción de leche, el uso de maíz representa un alto porcentaje de su dieta, ya sea en forma de grano (maíz molido, rolado, en hojuela, etc.) o en forma de ensilado, ya que aporta una buena cantidad de energía. En los últimos años se ha optado por utilizar el ensilaje, debido a que el ensilado aporta una buena cantidad de grasa en la leche lo cual beneficia el precio de este producto (Hernández y Ríos, 2008).

La leche es un producto de consumo básico ya que todos los estratos socioeconómicos la consumen. Aporta una buena cantidad y calidad de nutrientes como son proteínas y vitaminas que favorecen el desarrollo del ser humano.

Cifras actuales indican que la producción nacional de leche es de 9,98 millones ton (SIAP/SAGARPA, 2007) y se espera un crecimiento constante para los siguientes años, no obstante México es un país deficitario en la producción de leche. En 2006 importó 40% del consumo nacional. De este porcentaje, el 62% se destinó a programas de abasto social (LICONSA) y el 38% utilizado por la industria alimentaria.

Dada la situación, es necesario mejorar la competitividad del sector agropecuario, mediante un incremento en la rentabilidad, lo cual se puede conseguir aumentando la productividad, más kilogramos de producto por área de forraje utilizado, con la consecuente reducción de costos, principalmente de alimentación.

En México, la producción de maíz forrajero para ensilar en el 2007 fue de 9, 908,843 ton (SIAP, 2007). En el país, existen cerca de 109 mil hectáreas sembradas con maíz para forraje bajo riego, y alrededor de 271 mil hectáreas sembradas en temporal; Variando su rendimiento de MS de 80 a 15 ton/ha, respectivamente (SIAP, 2007).

Otro aspecto importante es que la investigación en el uso y aprovechamiento del maíz ha hecho que se produzcan híbridos para mejorar su rendimiento y calidad, además de su precocidad y eficiencia en el uso de agua.

El ensilado de maíz es un alimento complejo que consiste en una mezcla de grano y forraje finamente picado, teniendo ambos componentes de la planta un diferente valor nutricional para el animal. De este modo el grano es altamente digestible (Andrae *et al.*, 2001) y la parte verde de la planta, en este caso el forraje, tiende a tener una digestibilidad limitada. Las hojas y el tallo son más resistentes para la digestión debido a la estructura compleja de las paredes celulares (Buxton y Redfearn, 1997).

El uso masivo del maíz, especialmente en los sistemas más intensivos de producción, se debe en buena parte a la alta cantidad de MS digestible por hectárea.

En la producción de ensilado a partir de maíces híbridos se busca mejorar tanto la productividad, los costos y la calidad. Con una hectárea de maíz se puede producir mayor cantidad de materia fresca, que con la misma área destinada a pasturas. En cuanto al costo de producción, el producir ensilaje de maíz dentro del rancho, puede reducir la inversión en alimentos concentrados, sin disminuir la calidad del alimento ofrecido al hato.

Debido a la alta digestibilidad de la materia seca, alto contenido de carbohidratos no estructurales y baja fibra, el ensilado posee el nivel energético más elevado entre los forrajes conservados (Terrazas *et al.*, 2008).

El ensilado de maíz ha dejado de ser considerado un forraje tosco para constituirse en un componente en las dietas utilizadas principalmente para ganado bovino. Es un forraje de buena calidad y de alta capacidad de producción de materia seca por hectárea, pues se estima que puede alcanzar rendimientos de 70 a 90 toneladas de forraje verde (21 a 32 toneladas de materia seca por hectárea). (Terrazas *et al.*, 2008). Actualmente, la selección de genotipos de maíz para ensilaje tiene que ser de alta capacidad de rendimiento de materia seca, pero también de excelente calidad, es decir, de alto valor energético, pero para alcanzarlo se debe procurar cosechar en el momento oportuno (Hernández y Ríos, 2008).

Para mejorar el uso de maíz híbrido se debe de realizar una selección de los mejores materiales en términos de rendimiento y calidad. Las comparaciones de los híbridos normalmente las hacen los investigadores tomando en cuenta la precocidad del maíz e informan su rendimiento de materia verde/ha, materia seca/ha. La calidad medida por métodos que evalúan indirectamente el alimento suministrado a los animales, genera un obstáculo ya que el costo de este tipo de trabajos es muy elevado. Un método que permite calcular un índice predictivo del

potencial de la producción de leche/ha y la producción de leche/tonelada de materia seca, es un buen indicador de la calidad nutricional del híbrido (Núñez *et al.*, 2001).

Dicho cálculo de la producción de leche por tonelada de materia seca de ensilado de maíz, se deriva a partir de la fibra detergente neutro (FDN), la digestibilidad de FDN (DFDN), el almidón, la proteína y el extracto etéreo (EE). Se incluyen los factores relacionados con FDN porque son adecuados predictores de la ingesta, ya que es sabido que si se aumenta el consumo de alimento, sin duda se obtiene una mejor respuesta productiva por parte del animal. El almidón tiene un importante efecto sobre la respuesta en producción de leche, debido a que mejora la fermentación ruminal y la respuesta animal.

Por lo anteriormente señalado, el presente trabajo de investigación tiene por objeto evaluar la calidad nutricia de distintos ensilados de maíces híbridos, para identificar las características nutricias que permitan seleccionar los híbridos de maíz que al ser bien conservados mediante un buen proceso de ensilaje, manifiesten y mantengan el mayor valor nutritivo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Maíz

El maíz (*Zea mays* L) pertenece a la familia de las gramíneas, y constituye uno de los alimentos de mayor importancia en el mundo. Se encuentra entre los tres principales cultivos producidos a nivel mundial junto con el trigo (*Triticum aestivum* L.) y el arroz (*Oryza sativa* L.) (Paliwal, 2001). Se utiliza para consumo directo del hombre, en la industria alimentaria, como alimento procesado o como alimento concentrado para el ganado de carne y leche, en la elaboración de alimentos balanceados para las empresas avícolas y porcícolas y más recientemente como fuente de combustible (Robles, 1983; Sánchez, 1981). El maíz es un cultivo anual que requiere de una temperatura de entre 24-30° C para su desarrollo y producción. La planta de maíz se adapta a todo tipo de suelo, pero los más apropiados son los de textura de suelo franco a migajón arenoso, puede crecer en suelos con pH desde 5.6 a 7.5. (Sánchez, 1981). El maíz tiene características que permiten obtener ventajas económicas en la producción de ensilaje. Posee la capacidad de producir grandes rendimientos y la MS es de alta digestibilidad (Elizondo y Boschini, 2003; Johnson, 1991). El contenido de MS varía de 15 a 25% en la planta verde y la composición química es de 4 a 11% de PC, 4 a 7.5% de extracto etéreo, 27 a 35% de FDN, 34 a 55% de elementos libres de nitrógeno y de 7 a 10% de ceniza en la MS (Johnson, 1991).

Ensilado de maíz

El ensilado de maíz ha sido el forraje principal de los bovinos en América del Norte y en menor medida en Europa. Provee el 40% del valor nutritivo del forraje que consume el ganado lechero en los Estados Unidos y constituye una fuente importante en la alimentación de bovinos para carne (Roth y Undersander, 1995). El elevado contenido de almidón en el grano de maíz hace que tenga un contenido energético más alto que el heno o el forraje de sorgo, por lo cual, es un material ideal para ensilar (Mooi, 1991). Su follaje, fuente de fibra, contiene grandes proporciones de nutrientes digestibles, carbohidratos estructurales, los cuales son

necesarios para mantener un adecuado funcionamiento del rumen. Posee mejores características para ensilarse que otras gramíneas y leguminosas y esto es debido a su elevado contenido de azúcares que le confieren características fermentativas deseables. El maíz es capaz de conservarse por un mayor período de tiempo con una mínima pérdida de nutrientes y MS, comparado con otras gramíneas (Johnson, 1991).

El ensilaje es el proceso de conservación de la planta basado en la fermentación de los carbohidratos solubles, por medio de bacterias que producen ácido láctico en condiciones anaeróbicas. El producto final es la conservación del alimento por la acidificación del medio ($\text{pH} < 4.3$), el cual inhibe el crecimiento de microorganismos (Stefanie *et al.*, 2000; Garcés *et al.*, 2000). Este proceso ayuda a la conservación de forrajes frescos u otros alimentos con elevado contenido de humedad, en contenedores específicos denominados silos, protegidos del aire, luz y humedad externa. A diferencia del heno, el ensilaje puede evitar sustancialmente el daño causado por las lluvias (Owens *et al.*, 1999) y disminuye las pérdidas del material vegetativo en el campo, ocasionado por la actividad microbiana (Pitt, 1990). El éxito de la fermentación depende de la habilidad de las bacterias productoras de ácido láctico (BAL) de crecer rápidamente y utilizar los carbohidratos solubles disponibles en el material ensilado (Muck y Limin, 1997). Estas condiciones ocasionan una disminución rápida en el pH, lo que evita la proliferación de otros microorganismos (ej. Clostridium, coliformes, hongos y levaduras) y la producción de compuestos indeseables (ej. ácido butírico, etanol y CO_2). Sin embargo, si no se puede alcanzar una fermentación mayormente láctica, una alternativa es la producción de otros ácidos orgánicos mediante rutas heterofermentativas. Este último tipo de fermentación puede ser eficiente en la preservación de energía, aún cuando hay mayor pérdida de MS (McCullough, 1984).

El objetivo principal del ensilaje es, conservar el forraje con un mínimo de pérdida de MS y de nutrientes, manteniendo una buena aceptabilidad por el ganado y sin

que se produzcan en el proceso sustancias tóxicas que puedan afectar su consumo y la salud del animal. Para esto se necesita preservar el cultivo cosechado, a través de la fermentación anaerobia, con una disminución rápida del pH (Bates, 1999).

En la actualidad el ensilado de maíz no solo se usa como una fuente de alimento en la época de escases de otros alimentos, sino como un alimento base para el ganado durante todo el año. El ensilado de maíz es un forraje de alta calidad que es empleado en las granjas lecheras. Su popularidad es debido a su elevada producción con una buena digestibilidad y energía, además de que se dispone de variados implementos agrícolas para la mecanización en su cosecha y la alimentación del el ganado (Bates, 1989; Howell, 1998).

Proceso del ensilaje

El proceso del ensilaje consiste en la recolección rápida y mecanizada de los forrajes en estado vegetativo, depositando el forraje en el silo compactándolo y posteriormente tapándolo lo más pronto posible para evitar la entrada de oxígeno, favoreciendo la preservación del forraje por medio de una fermentación ácido láctico en condiciones anaeróbicas (Bates, 1999).

La masa del forraje experimenta una serie de transformaciones (Cuadro 1), estas transformaciones están generadas por bacterias que convierten los carbohidratos solubles en ácido acético y láctico (Bates, 1999).

Una vez que el cultivo es cosechado y ha sido puesto en el silo se inicia un proceso que puede ser dividido en 4 fases (Weinberg y Muck, 1997., Merry *et al.*, 1997):

- Fase aeróbica. Generalmente solo contempla unas horas. El oxígeno presente entre las partículas del ensilaje disminuye, debido a la respiración de los microorganismos (levaduras y enterobacterias) y de la misma planta. Además hay actividad de varias enzimas del forraje depositado en el silo, como proteasas y carbohidrasas. El pH se mantiene entre 6.5-6.0. En esta

fase se produce bióxido de carbono, agua y calor (Campbell y Higgenbotham, 2001).

- Fase de fermentación. Esta se considera cuando se crea un ambiente anaerobio. Si se produce adecuada fermentación inicia un aumento en la población de bacterias principalmente acetogénicas. Con este ácido, otras bacterias empiezan a producir ácido láctico y otros ácidos, disminuyendo el pH. En esta fase las bacterias utilizan los carbohidratos solubles para producir ácido láctico; el primer ácido responsable para la caída del pH en el ensilado (Kung, 1990).
- Fase estable. Se mantiene la acidez deseada (4.2) y esto ocurre a partir de las tres semanas después de llenado y tapado del silo (Campbell y Higgenbotham, 1999). En esta fase decrecen los microorganismos de la fase de fermentación, algunos permanecen inactivos y otros más permanecen en forma de esporas.
- Fase de deterioro aerobio. Ocurre en todos los ensilajes que son expuestos al aire para su utilización, sin embargo, también puede ocurrir antes por daño a la cobertura del silo. El periodo de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera sucede por la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje por acción de levaduras y por bacterias, que producen ácido acético. Esto aumenta el pH con lo cual se da inicio a la segunda etapa que es de deterioro y con ella aumenta la temperatura y la actividad de microorganismos que dañan el forraje ensilado.

CUADRO 1. FASES DEL PROCESO DE ENSILAJE

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

Adaptado de McCullough, 1984

Características del ensilado

Para evaluar si el ensilaje fue correctamente elaborado se utilizan algunas características cualitativas que corresponden a ciertas características físicas del ensilado, además, existen las determinaciones cuantitativas que se basan en la presencia de algunos compuestos químicos en el producto final (denominado ensilado).

Las determinaciones cualitativas son sencillas de evaluar, rápidas, prácticas y ayudan a dar una idea sobre la aceptación del forraje por el ganado, pero no permiten determinar el valor nutricional del producto. Estas características incluyen el olor, sabor y textura del forraje, presencia de hongos u otros contaminantes (Jiménez, 1988).

El olor de un buen ensilaje debe ser lo más parecido a frutas fermentadas, aceptado por el olfato humano y no muy penetrante. Olores muy diferentes, fétidos o muy penetrantes pueden indicar un tipo de fermentación no deseada. El olor de un buen ensilaje es muy similar al del vinagre (Muslera y Ratera, 1984; Roenfeldt., 2000).

El color de un ensilado de maíz bien elaborado debe ser semejante, en lo posible, al color original del forraje. Se admiten todas las tonalidades de verde o amarillo y se desechan todas aquellas que incluyen colores cafés u oscuros, los cuales indican putrefacción del producto (Gallagher y Stevenson 1976; Jiménez 1988; Wheaton *et al.*, 1993).

La textura del ensilado debe ser suave, ligeramente porosa, consistente; que no se desintegren ni adhieran las partículas del forraje a los dedos. El ensilado debe estar libre de hongos u olores a moho. El sabor del ensilado debe ser ácido tolerable. Todas las características se toman conjuntamente y son una herramienta valiosa para determinaciones empíricas hechas con rapidez (Jiménez, 1988).

pH del ensilado de maíz

El contenido de aire en la masa del forraje a ensilar debe ser eliminado lo más pronto posible, de lo contrario las células de las plantas siguen respirando y utilizan el azúcar reduciendo la cantidad de carbohidratos solubles, que deben utilizarse para producir ácido. Además, las bacterias (*Lactobacillus*) que transforman el azúcar en ácido, solo llevarán a cabo esta fermentación en ausencia de aire. El ácido producido se disuelve en los jugos de la planta, formando una solución ácida concentrada necesaria para la conservación de la masa de forraje, lo cual se conserva mejor a un pH por debajo de 4.3 (Ede y Blood, 1970).

El pH mide el grado de acidez. Un valor de 7 indica un pH neutro y valores menores de 7 indican condiciones ácidas. El ensilado de maíz tiene valores de pH cercanos a 4.0 y 4.2. El pH de un ensilado bien almacenado tendrá un rango de pH de 3.7 a 4.2 y el pH de un ensilado de maíz con un rango elevado de humedad fluctuará entre 4.3 a 4.5. Un pH bajo indica que en la masa del forraje se ha producido más ácido. Un pH alto en el ensilado puede deberse a una fermentación errónea causada por condiciones ambientales frías, la carencia de suficiente sustrato (6 – 8 % carbohidratos solubles) para que las bacterias produzcan los ácidos, una fermentación indeseable por presencia de bacterias del género *Clostridium* o un alto contenido de humedad (Cabanillas y Peñuñuri, 1984; Kung y Stokes, 1999; Cofré y Jahn, 1999). Por el contrario un pH alto podría ser indicativo de que el ensilaje ha sido estropeado por la presencia de aire; los ensilados gravemente dañados de esta manera pueden tener un pH mayor a 7.5 (Bjorge 1996; Mahanna 1997; Kung y Stokes, 1999; Weathon *et al.*, 1993).

Ácidos grasos volátiles en el ensilado de maíz

Ácido láctico

Debe ser el principal ácido presente en procesos de ensilajes adecuados y es el responsable de la disminución del pH. Las fermentaciones que producen ácido

láctico resultan en escasas pérdidas de materia seca y energía, durante el almacenamiento del maíz ensilado (Kung y Shaver, 2004). El rango de ácido láctico presente en el ensilado de maíz es de 5- 10 % de total de MS. La variación en la cantidad de ácido láctico y su presencia en un nivel generalmente bajo, se puede deber a diferentes factores como son: fermentación limitada debido a un alto contenido de MS, fermentación restringida debido a condiciones climáticas frías, condiciones aerobias y ensilados con alto contenido de ácido butírico (Kung y Shaver, 2004).

Ácido acético

La cosecha del maíz con un contenido de humedad alto (>75%), representa fermentaciones prolongadas (debido a una alta capacidad buffer), que eleva la producción de ácido acético. Una alta concentración de ácido también puede originarse por un mal compactado y un lento llenado del silo. La concentración normal de dicho ácido es <3%. Ensilados tratados con amoníaco tienden a presentar mayor concentración de ácido acético, debido a que existe una fermentación prolongada ya que el amoníaco tiende a elevar el pH (Kung y Shaver, 2004).

El maíz con alta humedad generalmente tiene un contenido bajo de ácido acético (menos del 1%). Niveles altos de ácido acético (mayores a 3 o 4 %) o de ácido butírico (mayores a 0.5%), son indeseables en el ensilado de buena calidad (Kung y Stokes, 1999; Roenfeldt, 2000).

Ácido propiónico

La mayoría de los ensilados de maíz contienen bajas concentraciones de ácido propiónico (< 3%). El ácido propiónico es un ácido graso volátil de cadena corta, que tiene una actividad antimicótica grande. Es eficaz en la reducción de levaduras y hongos responsables del deterioro de los ensilados. Su efecto es mayor conforme disminuye el pH, por ello su presencia mejora la estabilidad aeróbica del ensilado a un pH ácido (Kung *et al.*, 1999).

Ácido butírico

Una buena compactación reduce el contenido de aire atrapado en la masa del forraje ensilado; si esto no se logra, se produce poca cantidad de ácido láctico y crecen bacterias indeseables del género *Clostridium*, incrementándose la concentración de ácido butírico. La formación de ácido butírico incrementa el pH y la fermentación continua hasta que se agota la energía fácilmente disponible. El olor a mantequilla rancia (ácido butírico) indica un ensilado de mala calidad y con bajo contenido de energía (Weathon *et al.*, 1993). Mahanna (1997) señala que el forraje a ensilar contiene lacto bacilos que producen ácido láctico, y que además están presentes otras bacterias como *Clostridium* que desdoblan el ácido láctico y otros azúcares simples en ácido butírico, y descomponen las proteínas del forraje, originando el proceso de putrefacción o descomposición, quedando como resultado final un ensilado mal oliente y desagradable. La actividad de *Clostridium* se evita con acidez, y es acelerada por la humedad, de forma que un ensilaje húmedo (por ejemplo 82% de humedad, 18% de MS) debe tener un pH bajo (aproximadamente 4.0), para evitar la descomposición; un ensilado más seco (30% MS) será estable a una concentración ácida inferior (pH < 4.4), mientras que cuando el contenido de MS es elevado (40% MS) el producto es estable a un pH de 5.0. Una vez que los *Clostridium* empiezan a multiplicarse, no solo utilizan el ácido láctico y los azúcares (dificultando con ello la producción necesaria de ácido láctico), sino que al hidrolizar las proteínas también producen amoníaco el cual neutraliza parte del ácido láctico, presentándose un ensilaje indeseable que continua su descomposición.

Ensilados con niveles elevados de ácido butírico son generalmente considerados con deficiente aporte de energía y conllevan a una degradación extensa de las proteínas, dando como resultado grandes pérdidas de materia seca. La relación de transformación de ácido láctico a ácido acético es un indicador de la eficiencia de la fermentación del ensilado. Los lactobacilos son muy eficientes para producir el ácido láctico, pero la producción de ácido acético también implica una pérdida

de carbono del forraje ensilado durante la fermentación. Esto equivale a una pérdida de materia seca del vegetal y habrá menos materia seca disponible para producir acetato. Idealmente, la relación de transformación del ácido láctico a ácido acético no debe ser menor de 3:1 y cuanto más elevada sea esta relación la calidad del ensilado será mayor (Kung y Stokes, 1999).

Amoniaco

Idealmente, en el ensilado de maíz de excelente calidad la concentración de amoniaco debe ser menor a 7% del contenido proteínico (Kung y Stokes, 1999). Esa concentración se expresa generalmente como porcentaje del contenido de proteína cruda (PC) o nitrógeno del ensilado y puede estar normalmente entre 5 y 7% del contenido de PC. Altas concentraciones de amoniaco indican una mayor degradación de proteína y generalmente se presenta con mayor contenido de proteína soluble, que ocurre frecuentemente en ensilajes con alta humedad (menos de un 30 a 35% de MS); también se puede deber a un lento descenso de pH problema que se previene cortando el forraje para ensilar cuando la planta presenta < 30 % de contenido de MS.

Etanol

El etanol se encuentra en el ensilado de maíz en una concentración < 3% de la MS, pero en ocasiones puede estar en una concentración mayor de 7% en los ensilados que presentan una fermentación muy extensa, debida a la presencia de levaduras. Aunque el valor energético del ensilado rico en alcohol es bueno, las fermentaciones alcohólicas dan lugar a grandes pérdidas de nutrientes. Tales ensilados tienden a calentarse rápidamente cuando están expuestos al aire y, debido a su inestabilidad, la vida del ensilaje será más corta (Kung y Stokes, 1999).

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL ENSILADO DE MAÍZ

Característica	Ensilado De buena calidad	Ensilado de Mediana calidad	Ensilado de Mala calidad
Color	Verde o verde amarillento	Amarillo a Café oscuro	Negrusco, gris o Blanco
Olor	Agridulce aceptable al olfato	Ligeramente desagradable	Desagradable a Putrefacción
Textura	Firme y forma definida	Ligeramente suave y forma definida	Muy suave Sin forma definida
Humedad	66-72%	60-70%	≥70%
pH	3.7-4.2	4.2-4.6	≥5.2
Ácido láctico	5-10%	3-8%	≤4%
Ácido acético	≤3%	≤4-5%	≥5%
Ácido propiónico	≤2%	≤3%	≥3%
Ácido butírico	0%	≤.5-1%	≥1%
Amoniaco	1-4%	4-7%	≥7%
Etanol	≤1	≤2	≥2

Adaptado de Kung y Shaver, 2001

Factores que afectan una correcta fermentación

Madurez del maíz y momento de la cosecha

Las características fermentativas del maíz pueden afectarse por la edad de la planta (madurez) y el tipo genético (híbrido comercial o variedad). La madurez incrementa el contenido de MS y fibra (celulosa y lignina) disminuyendo la digestibilidad (Roth y Lauer, 1997). Como se indicó anteriormente, excesiva humedad trae como resultado pérdida de nutrientes por efluentes y afecta negativamente los procesos de fermentación, eleva el pH del ensilado y contribuye a la formación de grandes cantidades de ácido butírico (Miller, 1989). En contraste, el maíz cosechado en un estado de madurez óptimo fermenta rápidamente y el ácido láctico formado, preserva el forraje por un largo período de tiempo (Peñagaricano, 1992). La edad de cosecha del maíz para ensilaje tiene efecto sobre la concentración de fibra detergente neutro (FDN) (Van Soest, 1994). Un elevado contenido de FDN dificulta la compactación del material al llenar en el silo. Allen y Oba (1996) observaron que los valores de FDN, Fibra Detergente Acida (FDA) y lignina en maíz cuyo contenido de MS se incrementó entre 30 y 41%, declinaron por 11, 13 y 6%, respectivamente y la digestibilidad de la fibra decreció en un 10%. Los cambios en FDN y FDA con la edad de madurez fueron más consistentes, mientras el efecto sobre la PC varió entre diferentes híbridos, sus estudios revelaron que el contenido de almidón en el grano aumentó con la edad de madurez, disminuyendo el contenido de azúcares. Todos estos cambios en la composición química del maíz debido a la edad de madurez, afectaron las características fermentativas del mismo, al momento de ensilar.

Un estado adecuado de maduración asegura una cantidad de azúcares fermentables para las bacterias del ensilaje, que garantiza que el valor nutricional del ensilado sea mayor (Schroeder, 1998). Una buena calidad del ensilado se

relaciona directamente con elevado consumo y mayor producción de leche en vacas altas productoras (Kung, 2002).

El momento en que se cosecha el cultivo de maíz para ensilaje puede afectar la producción de forraje, la composición morfológica de la planta, el estado general de la planta y la calidad del ensilado. Si bien se señala un momento óptimo de corte que según el criterio adoptado puede ser madurez fisiológica, 35% de materia seca de la planta entera o $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ de línea de leche. Actualmente esa práctica puede indicar el momento de empezar a realizar muestreos y determinar el estado de maduración correcto del grano, ya que, debido a diferencias entre híbridos y el ambiente, el porcentaje de humedad puede variar con respecto a la línea de leche. Boschini y Elizondo (2004) evaluaron el efecto de seis fechas de corte (70, 84, 98, 112, 126 y 154 días) sobre el rendimiento de MS y composición química del híbrido de maíz 3002 W blanco (Pioneer) para ensilaje. Encontraron que los contenidos de PC fueron altos hasta los 84 días ($>12\%$ PC) y medios hasta los 112 días ($>9\%$ PC), con contenidos de MS inferiores a 15%. Los mayores rendimientos de MS se obtuvieron a los 126 días de crecimiento con 17.9 t/ha, y 20% de MS, 7.9% de PC, 76% de FDN y 4.8% de lignina. Núñez *et al.* (2005) evaluaron cuatro híbridos y tres estados de madurez (grano masoso, grano en $\frac{1}{4}$ de la línea de leche y grano en $\frac{1}{3}$ de la línea de leche) con el objetivo de evaluar la interacción y obtener información de cuándo cosechar para mejorar la producción y calidad del maíz forrajero. Encontraron que no hubo relación de los híbridos por estado de madurez para producción de MS/ha, porcentaje de MS, contenido de FDN y digestibilidad *in vitro*. Las producciones de MS/ha fueron similares en los tres estados de madurez, pero la digestibilidad *in vitro* fue mayor a $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{3}$ de avance de la línea de leche ($P<0.05$). Los autores concluyeron que cosechar el grano de maíz a $\frac{1}{4}$ de avance de la línea de leche permitió mayor digestibilidad *in vitro*, un porcentaje de MS adecuado para una buena fermentación. Elizondo y Boschini (2003) compararon el valor nutricional y la MS de dos cultivares de maíz (híbrido y criollo) a igualdad de edad y estado fisiológico, sembrados a diferentes distancias entre plantas (50x70, 25x70, 16x70 y 8x70 cm).

Se realizaron muestreos a los 119, 133 y 147 días de establecido el cultivo. Encontraron que la calidad nutritiva difirió significativamente ($P < 0.05$) al variar la distancia entre plantas. La PC en la planta entera fluctuó entre 8.94 y 9.96%, el contenido de MS en el maíz híbrido y criollo fueron similares en igual estado fisiológico, obteniéndose valores de 15.76 y 12.05%, respectivamente. El contenido de FDA y la celulosa en la planta entera, fueron inferiores en un 12% en el cultivar híbrido comparado con el criollo, a igualdad de edad.

Para el mejor desarrollo de la lactación en vacas lecheras, se ha demostrado que la humedad del ensilado de maíz entre 65-70% aumenta la producción de leche. Cosechar plantas con más del 70% de humedad incrementa las pérdidas por filtraciones, incrementa la acidez con lo cual baja el consumo de materia seca. Por otro lado, se ha demostrado que cosechas con menos del 60% de humedad en la planta de maíz, presentan reducción del contenido de fibra y de la digestión del almidón (Shaver *et al.*, 1999). Además, la poca cantidad de humedad provoca mala compactación del ensilaje causando pérdidas por oxigenación e incremento en la posibilidad de que el ensilado se quemé o por lo menos disminuya significativamente su calidad (Bates, 1999). El Cuadro 3 muestra el porcentaje de humedad de acuerdo al tipo de silo.

CUADRO 3. PORCENTAJE DE HUMEDAD EN DIFERENTES TIPOS DE SILO

Tipo de Silo	Porcentaje de humedad
Silo bunker horizontal	65-70%
Liso en bolsa	60-70%
Vertical de concreto	63-68%
Vertical	55-60%

Bates, 1999.

Criterios para determinar el estado de madurez

Las plantas de maíz ofrecen signos visibles de madurez y cosecharlas en el momento óptimo puede ser la diferencia entre un ensilado de alta o baja calidad. Un indicador muy utilizado para determinar el momento óptimo de cosecha es la línea de leche del grano. La línea de leche, es el límite entre el endospermo líquido y el endospermo sólido y se hace visible por la parte exterior de la semilla de maíz luego de ésta haberse dentado. A medida que madura, se vuelve pastosa, mientras que en su interior sigue siendo lechosa. Posteriormente, la línea de leche desaparece al alcanzar la semilla su peso seco final sin ningún endospermo lechoso. Según recomendaciones de las Universidades de Wisconsin y de Minnesota, los límites de humedad óptimos se encuentran entre 61 y 68%, que corresponde a la etapa de la semilla entre $\frac{1}{2}$ leche y pasado $\frac{1}{4}$ de leche (Crookston y Kurle, 1987). El rendimiento máximo de la planta de maíz generalmente ocurre al alcanzar el estado de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ de la línea de leche. En dicho estado se encuentran niveles óptimos de contenido de pared celular, porcentaje de grano, digestibilidad de la fibra, almidón y azúcares (Roth y Lauer, 1997).

Capacidad amortiguadora

Todos los forrajes tienen diferente capacidad buffer. La capacidad buffer o amortiguadora mide el grado de resistencia que tiene un forraje para cambiar su pH. El maíz tiene poca capacidad buffer por lo cual es fácil su ensilaje sin adición de acidificantes (Miller, 1989).

Carbohidratos solubles y contenido de grano

El contenido de carbohidratos solubles, ayuda a que el proceso de fermentación se lleve a cabo correctamente. Así que, cuanto más alto sea el nivel de carbohidratos solubles (azúcares), mejor es la fermentación. Estos son una fuente de energía para los microorganismos. Los principales azúcares presentes en las plantas son la glucosa, la sacarosa y la fructosa. Existen en las plantas otros carbohidratos que presentan una fermentación limitada como el almidón, celulosa

y hemicelulosa. Bajo algunas condiciones la fermentación puede ser limitada por el bajo contenido de carbohidratos solubles del forraje, causando que el pH no disminuya para asegurar la preservación del mismo. Se requiere de un 6 a 12% de carbohidratos solubles para lograr una fermentación apropiada del forraje ensilado (Bjorge, 1996).

El maíz forrajero contiene suficientes carbohidratos solubles para asegurar un buen ensilaje. Las plantas que crecen en condiciones de alta incidencia solar, concentran cantidades mayores de carbohidratos solubles que aquellas que crecen en condiciones frescas. La precipitación abundante durante el crecimiento puede reducir la cantidad de carbohidratos solubles hasta en un 50%. Conforme avanza la edad de la planta la cantidad de carbohidratos solubles aumenta. De igual forma hay variaciones diarias de la concentración total de carbohidratos solubles en el agua; Las cuales parecen aumentar en la mañana y disminuir en la tarde (Bjorge, 1996; Coblenz, 1998).

Producciones altas en grano aumentan el rendimiento total del forraje, por lo tanto la relación de transformación de grano por tonelada de ensilado fluctúa extensamente y esto se considera importante para estimar costos de ensilaje (Coblenz, 1998).

Tamaño de partícula

Jiménez (1988) menciona que las cosechadoras de forraje o ensiladoras de uso general en México realizan el troceado del material a un tamaño de 1 a 2.5 cm, lo cual es favorable para su manejo en el silo. Cabanillas y Peñuñuri (1984) aseguran que el picado del forraje debe hacerse de manera tal que se obtengan trozos de 1 a 3 cm de longitud. Un picado fino, menor a un centímetro, favorece la eliminación del aire e incrementa la densidad del material pudiendo disminuir el tamaño de los silos. Jacobs (1993), Harrincharan (1998), Cofre y Jahn (1999). Wheaton *et al.* (1993) y Bal *et al.* (1998), mencionan que el forraje de maíz se debe cortar en partículas de 1.27 cm a 1.9 cm de longitud. Sin embargo, Bjorge (1996) y Siliciano *et al.* (1993), recomiendan una longitud teórica de 0.6 cm a 1.27

cm, argumentando que las partículas de esta talla se compactan más firmemente en el silo y son más palatables para el ganado. Estos autores también aseguran que el cortar y picar mejoran las posibilidades de obtener un buen ensilado, porque estos procesos promueven el crecimiento bacteriano. Si el tamaño de partícula no es el adecuado no se puede llevar a cabo la compactación, con la consecuente pérdida de calidad de la masa de forraje ensilado, debida al calentamiento (Gallagher y Stevenson, 1976).

Llenado, compactado y tapado del silo

Una mayor velocidad de llenado del silo favorece la eliminación del aire y el inicio de la fermentación anaeróbica, beneficiando la calidad del ensilado (Cofre y Jahn, 1999). De igual forma, la compactación del forraje picado reduce el contenido de aire (Cabanillas y Peñuñuri, 1984; Wheaton *et al.*, 1993; Bjorge, 1996). Esto es importante ya que después del corte las células de la planta siguen respirando y utilizan el oxígeno y forman el bióxido de carbono, formando así una condición anaerobia en el silo. Esta condición favorece que las bacterias deseables comiencen el proceso de fermentación, el cual se caracteriza porque las células de las plantas dejan de respirar y por la producción de los ácidos acético y láctico, por las bacterias que se alimentan de los azúcares simples y los almidones del maíz picado. Si el aire no es eliminado y el bióxido de carbono se escapa, la respiración de las células de la planta continua y estas utilizan demasiados azúcares y carbohidratos; perdiéndose así los nutrientes necesarios para las bacterias deseables (Wheaton *et al.*, 1993; Campbell y Higgenbotham, 1999).

Se recomienda que inmediatamente después del llenado se efectúe la compactación (Cabanillas y Peñuñuri, 1984; Bjorge, 1996 y Harricharan, 1999), la cual debe ser uniforme y al término de esta operación el silo debe ser herméticamente cerrado (Cofre y Jahn, 1999). De igual forma se recomienda cerrar el silo cada vez que se destape, y evitar así que los microorganismos que requieran oxígeno se desarrollen. Una vez que se ha producido la fermentación, esta se detiene, dichos cambios deben llevarse de 20 a 30 días como máximo. Si

el forraje esta en un silo perfectamente sellado y no tiene acceso a agua ni aire, el ensilado se conservara no solo por meses, sino por años, sin perder sus propiedades nutritivas y la preferencia que muestra el ganado (Cañeque y Sancha, 1998).

Efluentes durante el proceso de ensilaje

En la mayoría de los silos se presenta escurrimiento cuando la humedad de forraje a ensilar es alta (Wheaton *et al.*, 1993; Harricharan, 2000). Este fenómeno alcanza un pico alrededor del cuarto día después del llenado, causando pérdidas de nutrientes. Sin embargo, un forraje con alto contenido de MS dificulta la compactación ocasionando pérdida elevada de ensilado, porque no se establece adecuada fermentación (Wheaton *et al.*, 1993). Es recomendable drenar el efluente o líquido residual ya que es desagradable, igualmente importante es considerar que representa pérdida de nutrientes valiosos del producto ensilado (minerales, azúcares y compuestos nitrogenados solubles altamente digestibles), así como la pérdida importante de ácido láctico necesario para estabilizar el ensilado (Ede y Blood, 1970).

Calidad del ensilado

Valor nutritivo

Cañeque y Sancha (1998) señalan que el valor nutritivo inicial de la planta influye en el valor final después del ensilaje. Por su parte, Dimarco y Aello (2003) mencionan que la calidad del ensilado es similar a la que muestra la planta de maíz antes de ser ensilada, lo que difiere es la fracción soluble, debida a la pérdida de hidratos de carbono y proteínas solubles. Esos investigadores concluyen que la digestibilidad es 10-15% menor que la de la planta antes de ser ensilada.

Proteína Cruda (PC)

El contenido de proteína del ensilado de maíz es inferior a 7 a 8% de MS y relativamente poco variable. Martínez *et al.* (2004) registraron que el contenido de

PC en híbridos de maíz varío de 7.7 a 9.2; los que mayor contenido de PC mostraron fueron; Pantera, Gilsa-120, Tromba, C-526 y 30G40 (más de 9% de PC), además concluyeron que el contenido de PC se asoció negativamente con el rendimiento de grano y forraje.

Después de la floración el contenido en materias nitrogenadas disminuye hasta el final del estado lechoso, posteriormente permanece relativamente constante. Esto quiere decir que tanto hojas, tallos, espigas más envolturas y granos contienen un 10, 9.8 y 8% de PC al comienzo de la formación de grano lechoso, grano pastoso y estado vítreo, respectivamente (Ceñeque y Sancha, 1998).

Mahanna (1997) afirma que las enzimas de la planta pueden bajar el valor nutricional de las plantas forrajeras ya que degradan las proteínas (hidrólisis) y aumentan la cantidad de Nitrógeno no Proteico (NNP) como son amoniaco, nitratos, nitritos, aminoácidos libres, aminos y péptidos. Hasta el 50% de la proteína de la planta total puede ser degradada cuando la fermentación es prolongada y no alcanza la acidificación y posterior estabilización del ensilado. Por su parte Ceñeque y Sancha (1998), aseguran que esta proteólisis disminuye a medida que el medio se acidifica, deteniéndose completamente cuando el pH desciende por debajo de 4. Es importante resaltar que en ensilados de calidad el contenido de nitrógeno soluble es mayor que el de la planta original y puede representar más del 50% del nitrógeno total.

En ensilados húmedos (>70% de humedad), los *Clostridia* proteolíticos pueden contribuir perceptiblemente a la degradación de proteína y, consecuentemente, a mayor tiempo más pérdida de energía. La degradación de la proteína del ensilado da lugar a niveles crecientes de proteína soluble y proteína degradada (Mahanna, 1997).

Un ensilado de buena calidad tiene un contenido escaso de nitrógeno amoniacal y niveles mayores de aminoácidos y péptidos fraccionados en NNP. El aumento de péptidos puede ayudar al crecimiento de bacterias que digieren el almidón en el rumen. Los ensilados de baja calidad se deben a un alto contenido de humedad

fermentándose el forraje a amoníaco, aminos y ácido butírico. El maíz por sí solo no puede cubrir las necesidades proteicas de los rumiantes, lo que implica la utilización de una fuente nitrogenada complementaria (como urea, un forraje rico en proteína o concentrado proteico) al momento de realizar el ensilaje (Grant *et al.*, 1994). Sin embargo, cuando se agrega urea durante el ensilaje el pH se eleva a casi 9.0. El efecto tóxico sobre las levaduras, los hongos y las poblaciones bacterianas puede causar realmente una reducción en la degradación de la proteína y, por consiguiente, en los productos indeseables tales como las aminos (Mahanna, 1997).

Digestibilidad

La digestibilidad del maíz está influenciada por el contenido de grano presente y por la calidad nutritiva de la planta sin mazorca. Por lo general, se considera que híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad forrajera. Altas correlaciones han sido reportadas entre el índice de cosecha y el contenido de fibra y digestibilidad. No menos importante ha sido la contribución de la proporción de mazorca (en base seca), sobre el contenido de energía metabolizable en un gran número de híbridos evaluados (Graybill *et al.*, 1991). El ensilado de maíz poco maduro tiene digestibilidad similar o mayor que el ensilado de maíz maduro. Esto es debido a que la digestibilidad del almidón y de la fibra disminuye mientras se incrementa la edad de la planta; dando ventaja al ensilado proveniente de planta inmadura, debido a que los carbohidratos no estructurales del maíz inmaduro son azúcares altamente digestibles. Por lo tanto cuando la cosecha se realiza en la madurez adecuada, aumenta la producción de leche debido a una digestibilidad más alta del almidón y la fibra (Allen, 1996; Jung *et al.*, 1998).

Por otro lado, Ceñeque y Sancha (1998) mencionan que la digestibilidad de la materia orgánica de la planta de maíz fresca disminuye hasta la floración y después no evoluciona, siendo su valor medio de 71.5 % ya que el aumento de la proporción de la espiga, cuya digestibilidad es elevada y prácticamente constante

(83-85%), compensa la disminución de la digestibilidad del resto de la planta, que pasa de 70 a 60% entre los estados lechoso y vítreo del grano respectivamente. La digestibilidad es diferente en el forraje de maíz fresco y ensilado. Titterton y Bareeba (1999) afirman que la digestibilidad declina rápidamente después de que florece el maíz.

Ceñeque y Sancha (1998), señalan que las diferencias en la digestibilidad relativamente importantes entre ensilados de maíz, pueden ir unidas a condiciones climáticas desfavorables en la fase de maduración del grano. Así maíces recolectados con más de 50 días después de la floración y ricos en espiga (65%) presentan una digestibilidad elevada (74%) en relación con los que son pobres de la misma (como consecuencia de haber sufrido sequía en verano), cuya digestibilidad disminuye hasta el 68%. Las diferencias entre variedades dependen de la calidad de los tallos y del contenido de grano. Al respecto Núñez *et al.* (2003.) concluyeron que existe variación en la digestibilidad entre maíces híbridos, sin embargo, la digestibilidad varió más en tallos cosechados en senescencia (entre 26.2 y 65.0 %), de 46.5 a 72.7 % en tallos cosechados a más temprana edad y de 58.0 a 67.6 % en hojas (Núñez *et al.*, 2003.)

Fibra detergente neutro (FDN).

La FDN mide la celulosa, hemicelulosa y lignina de los forrajes, mientras que la determinación de fibra detergente ácido (FDA), solo mide celulosa y lignina. La FDN esta correlacionada con el consumo del forraje y, la FDA esta correlacionada con la digestibilidad del forraje. Los valores de contenido de FDN en ensilados de maíz se encuentran en un intervalo muy variable que va de 35 a 70% de FDN (Causicanqui *et al.*, 1999; Boschini *et al.*, 2004).

Elementos para una buena producción de maíz para ensilaje

Híbridos de maíz y su efecto sobre las características del ensilado de maíz

Wheaton *et al.* (1993) y Siliciano (1999), mencionan que un híbrido de maíz de alta producción de grano generalmente es de alto rendimiento y calidad en el ensilado, debido al aporte de nutrientes; dichos investigadores afirman que una variedad de maíz de ciclo largo es la más apropiada para ensilar, que aquellas de ciclo corto. Dicha conclusión se respalda en que las variedades de maduración tardía pierden su humedad más lentamente que las variedades de maduración temprana, alargando más la edad de cosecha para ensilar y aumentando el contenido de materia seca. Las variedades híbridas utilizadas para ensilaje tienen alto contenido de azúcares, proteína y fibra pero un bajo contenido de energía, que las variedades utilizadas para grano (Wheaton *et al.* 1993).

Un híbrido de maíz para producción de forraje debe presentar características útiles, como adaptación a densidades de siembra altas, tallo fuerte, prolificidad, periodo de maduración corto, espiga chica y compacta y alta producción de grano (Rodríguez, 1998; Robinson, 1999).

La selección de híbridos para ensilaje es cada vez más compleja debido a la gran cantidad de factores que intervienen en esta decisión (Roth y Undersander, 1995; Allen y Oba, 1996). El criterio tradicional para seleccionar híbridos está basado principalmente en factores agronómicos, incluyendo rendimiento, precocidad, resistencia a enfermedades, resistencia al acame, tolerancia a sequía y características de almacenamiento. En cambio hay poco énfasis en su composición química, que es uno de los aspectos más importantes a considerar en la producción de ensilado (Cox *et al.*, 1993). Hasta hace poco tiempo se usaban los mismos híbridos para ensilaje y grano. Sin embargo, con el avance en los métodos de mejoramiento genético y selección, aumentado en la disponibilidad de materiales por lo que se deben incorporar otros factores en la evaluación, tales como: digestibilidad, materia verde, respuesta animal en el consumo del forraje entre otros.

Existe cada vez más evidencia científica de que hay diferencias en la respuesta animal con una alimentación basada en ensilado proveniente de diferentes

híbridos. Aunque estas diferencias son pequeñas de detectar, se puede afirmar que hay algunos híbridos que presentan mejor rendimiento de leche y carne que otros (Jahn y Bermedo, 2003). Investigaciones recientes han señalado variaciones en digestibilidad, contenido de proteína y características de la fibra del forraje en 32 híbridos comerciales de maíz (Allen *et al.*, 1997). Johnson (1991), comparó 13 híbridos de maíz y encontró una gran variación en proporción al rendimiento del grano, pero no así en los rendimientos de MS.

El inconveniente con estos híbridos, es que el mejoramiento genético realizado está dirigido hacia la producción de grano, sin considerar características del ensilado. Se busca lograr cañas gruesas y resistentes al vuelco, con una maduración uniforme entre espiga, tallo y hojas. Sin embargo, esto provoca que cuando el grano se encuentra en la madurez óptima para la cosecha, la planta está demasiado seca, disminuyendo la digestibilidad de la fibra y dificultando la compactación del material ensilado (Cox *et al.*, 1993).

En lo que respecta al mejoramiento genético de calidad de forraje, existe un gen recesivo conocido como bm3 (Brown midrib 3) que reduce el contenido de lignina en el tallo del maíz. En general los materiales con este gen, tienden a ser menos vigorosos y con menor producción de materia seca; sin embargo, el nivel de reducción varía en diferentes grupos genéticos. Con la presencia del bm3 se reduce el contenido de lignina (1 a 2%) y se incrementa el contenido de proteína 1% (Singh 1985; Brandalini y Salamina, 1985). Esta reducción en lignina también está asociada a bajo contenido de materia orgánica (Buxton y Casler, 1993).

Siembra

La semilla de maíz permite que se siembre tanto en suelos bien preparados como en suelos con mínima labranza o siembra directa. La distribución de las plantas puede ser en surcos de 75 a 80 cm con una hilera de plantas o en camas de 1 y 1.62 m con dos hileras de plantas, con separación entre hileras de 40 y 50 cm, respectivamente (SIAP, 2008). La siembra de maíz para ensilar en condiciones de temporal manifiesta los mayores rendimientos de grano, con disminución de la

altura de tallo. La materia seca total varía poco entre el maíz sembrado a partir del último día de marzo o a finales de abril, donde el contenido de grano varía considerablemente (Wheaton *et al.* 1993; Cofré y Jahn, 1999).

Densidad de población en el cultivo de maíz para ensilar

La siembra utilizada para ensilado, debe realizarse con 40,000 a 70,000 plantas por hectárea, haciendo la siembra entre surcos a distancias menores, lo que aumenta la producción del cultivo. Reta *et al.* (2000), evaluaron la densidad de siembra en híbridos de maíz para ensilaje y encontraron que no hubo efecto por densidad de población en la calidad del forraje. Sin embargo Núñez *et al.* (2006) encontraron efecto por densidad de población de 60,000 a 100,000 plantas/ha. La producción de materia seca aumentó mientras que la digestibilidad *in vitro* declinó, con el aumento de la densidad de población.

Fertilización del cultivo

El N es esencial en la obtención de proteína bruta (PB o PC) en el maíz y se requiere una dosis adecuada de fertilización nitrogenada para obtener el máximo contenido de PB (Cox *et al.*, 1993). Scharf *et al.* (2002) y Binder *et al.* (2000) señalaron que es conveniente aplicar los fertilizantes nitrogenados en varios suministros a través del cultivo para obtener una mayor producción de maíz, ya que el consumo de N es mínimo al inicio de crecimiento de la planta, aumentando hasta alcanzar un máximo entre la floración y la formación inicial del grano. Diversos autores han señalado que el aumento de la fertilización nitrogenada produce un incremento en el rendimiento de MS, aumentando además el contenido proteico del grano de maíz (Sinclair y Muchow, 1995; Muchow y Sinclair, 1994; Bundy y Carter; 1988; Carlone y Russell, 1987). Actualmente, existe gran interés en el uso de abonos orgánicos de origen animal y vegetal (ej. efluentes de vaquerías o asociación de leguminosas anuales fijadoras de N) para mejorar las características físicas, biológicas y químicas del suelo o aumentar la concentración de la PC en el ensilaje de maíz (Valencia *et al.*, 2006). Una cosecha de 20 toneladas quita aproximadamente 16 kg de P y 80 kg de K; si el ensilado de maíz

es cosechado en un mismo terreno por muchos años consecutivos, la aplicación adicional del fertilizante, debe ser especialmente potasio. En suelos usados para producir maíz para ensilado, lo recomendable es aplicar 112 a 170 kg de N por hectárea.

Coblenz (1998) menciona que la fertilización alta en nitrógeno puede influir en las concentraciones de nitrato en el forraje. Altas cantidades de nitratos son indeseables para el proceso de ensilaje, ya que algunos de los nitratos en el forraje se degradan en amoníaco y tienden a alcalinizar el pH en el ensilado.

Eficiencia de utilización del forraje por el animal

Un aspecto importante al usar un híbrido de maíz forrajero, es conocer la eficiencia de utilización de estos maíces por los animales. Para poder hacerlo se debe tener en cuenta la respuesta del animal al producto (producción de carne, leche o lana). Es prácticamente imposible la utilización de animales como prueba, ya que el número de híbridos a evaluar es tan grande que se hace económicamente inalcanzable trabajar con grupos de animales homogéneos entre sí (edad similar, peso, estado sanitario, etc.), por lo que se puede decir que la mayor calidad biológica se logra cuando el contenido de energía, de digestibilidad y la tasa de ingesta de la materia seca ensilada son máximos y se alcance el valor de índice de conversión más elevado (Bertoia, 2004).

Bianco *et al.* (2003) realizaron estudios de evaluación de ensilados de maíz de ciclo medio y largo en vacas Holandesas, donde observaron que en la producción de leche, contenido y producción total de proteína y peso vivo no hubo diferencias significativas, sin embargo; para contenido graso de leche si las hubo. Por lo anterior, puede decirse que esta última variable hoy en día es importante, ya que las compañías comercializadoras de productos lácteos pagan a los productores la producción de leche por contenido de grasa.

La calidad nutritiva de un ensilado de maíz depende de diferentes factores que afectan de manera significativa el potencial productivo de un animal, por lo tanto es importante conocer cada uno de estos factores para determinar su efecto y buscar nuevas y mejores alternativas en el uso y aprovechamiento de la planta de maíz como ensilado.

3. JUSTIFICACIÓN

Dada la situación actual de la producción nacional de leche en nuestro país y el uso cada vez mayor del ensilado de maíz como alimento básico en la alimentación de bovinos productores de leche, es necesario analizar las características nutricionales de los ensilados de híbridos comerciales de maíz forrajero que continuamente liberan las empresas generadoras de semillas. Con base en los resultados obtenidos de una caracterización nutricional, los productores de bovinos podrían seleccionar híbridos de maíz, que una vez ensilados, representen un mayor valor nutritivo para satisfacer las necesidades nutricionales de las vacas productoras de leche.

Es posible que la composición nutricional de un mismo ensilado de híbrido de maíz manifieste modificaciones por la incidencia de los factores que intervienen en su composición en las distintas regiones del país, sin embargo, no existen muchos estudios que revelen esa variación regional. Por tal motivo, la presente investigación compara distintos ensilados de híbridos de maíz que fueron obtenidos en diferentes regiones del país, en cuanto a sus características productivas: contenido de MS, proporción de grano, proporción hoja y tallo; características nutrimentales: concentración de PC, EE, cenizas, FDN, almidón; la digestibilidad de las principales características nutrimentales: Digestibilidad de la materia seca (DMS), Digestibilidad de la materia orgánica (DMO), digestibilidad de la fibra detergente neutro (DFDN) y la estimación de su aporte energético: Total de nutrientes digeribles (TND), Energía digerible (ED) o Energía metabolizable EM.

4. HIPÓTESIS

- En ensilados de híbridos distintos de maíz el aumento en el contenido de proteína, incrementa la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro.
- En ensilados de híbridos distintos de maíz un mayor contenido de FDN disminuye la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro.
- La digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro es menor a medida que el ensilado de maíz presenta menor contenido de almidón y el resultado puede ser distinto en cada híbrido de maíz.
- La digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro es mayor a 48 horas que a 30 horas de incubación

5. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las características nutricias de 15 ensilados de maíces híbridos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las características nutricias (humedad, materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, cenizas, almidón, fibra detergente neutra) y digestibilidad *in vitro* de ensilado de distintos híbridos de maíz.
- Determinar la correlación del contenido de almidón y proteína bruta en ensilados de híbridos de maíz sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro.
- Determinar el efecto del contenido de FDN en ensilados de híbridos de maíz sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro.
- Determinar el efecto del contenido de almidón en ensilado de distintos híbridos de maíz sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y FDN.
- Evaluar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro, a 48 horas y 30 horas de incubación, en distintos híbridos de maíz.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio consistió en determinar la calidad nutrimental del material ensilado de 15 híbridos comerciales de maíz, cultivados durante el ciclo primavera-verano 2008, provenientes de diferentes lugares del país entre los que están: Chihuahua, Chihuahua; Zapopan, Tepatitlán, Arandas y Guadalajara. Para algunos de los híbridos no se obtuvo la zona de procedencia. A partir de la combinación de híbrido comercial y lugar de procedencia se analizaron 32 ensilados, cada uno de ellos conformado por dos muestras colectadas directamente del silo y conservadas en congelación hasta el momento de su análisis en el laboratorio.

Con información técnica de Monsanto (2006) se conformó el Cuadro 4 donde se presentan los híbridos de maíces, lugar de procedencia y características agronómicas.

El manejo de siembra, prácticas agronómicas de cultivo, cosecha, preparado para el ensilado y el manejo para ensilar variaron según la procedencia y el híbrido, lo que permitió incluir en este estudio esta variabilidad como parte de la amplitud del origen de las muestras de ensilado y, por tanto, tener la posibilidad de que la descripción nutrimental obtenida refleje la gran variabilidad en las prácticas de producción a la que es sujeta el cultivo de maíz para ensilado.

Las muestras del material ensilado fueron colectadas bajo un mismo protocolo por personal de Monsanto. Este protocolo consistió en retirar directamente del silo dos muestras de aproximadamente 700 g cada una, colocarla en bolsa plástica sellada someterla a congelación y enviarlas al Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional Autónoma de México para su posterior análisis de contenidos nutrimentales.

CUADRO 4. HÍBRIDOS COMERCIALES DEL MATERIAL ENSILADO.

Híbrido	Procedencia*	Características
A7573	Chihuahua	Alto rendimiento en grano. Días a la cosecha 100-110
Bisonte	Guadalajara	Alto rendimiento en grano. Días a la cosecha 100-110
Cebú	Arandas Chihuahua, Arandas y Guadalajara.	Alta rendimiento en grano. Alto rendimiento en materia seca.
Cobra		
DK2020Y	Zapopan	Alto rendimiento en grano. Días a la cosecha 100-110 Alto rendimiento en grano. Días a la cosecha 100-115
DK 2025	Zapopan	
DK 2026	Zapopan	Alto rendimiento en grano. Alto rendimiento en grano. Días a la cosecha 95-100
Impala	Desconocida	
MD 8U81	Desconocida	N/D
MD 9951	Desconocida	N/D
Oso	Arandas, Guadalajara Desconocida	Alto rendimiento en grano. Días a la cosecha 100-110 Alto rendimiento en grano y materia seca. Días a la cosecha 100-115
Pantera		
Puma	Guadalajara	Alto rendimiento en materia seca.
Tigre	Arandas, Guadalajara. Arandas	Alto rendimiento en grano y materia seca. Días a la cosecha 100-110 Alto rendimiento en grano y materia seca. Días a la cosecha 100-110.
Tigre Y		

*Cada híbrido pudo presentar más de una procedencia, y en algunos casos la procedencia no fue definida.

La calidad nutrimental de las muestras de ensilado se determinó a través de los siguientes principios nutritivos: humedad; nitrógeno total; extracto etéreo; fibra detergente neutro; digestibilidades de las materias seca y orgánica y de la fibra detergente neutro; razón hoja y tallo: grano; almidón total; energías digestible y metabolizable; y total de nutrientes digestibles.

El contenido de humedad se determinó mediante el procedimiento descrito por A.O.A.C. (1990, método 930.04) en el cual la muestra fue cortada en trozos de 3 cm de longitud, pesada en una balanza analítica (100g) y depositada en una tara previamente pesada, se deshidrato en un horno modelo Ríos Rocha con temperatura de 50 a 60° C por 48 hrs y posteriormente se volvió a pesar para estimar el contenido de humedad por diferencia de peso. La cantidad de materia seca en el alimento se obtuvo restando 100 menos la humedad.

El Nitrógeno total se determinó con el método descrito por la A.O.A.C. (1990), 954.01 en el cual la muestra fue pesada (1g) y depositada en tubos de digestión de 300 mL, se agrego un catalizador el cual contiene sulfato de cobre y zinc y se añadió ácido sulfúrico en cantidad de 20 ml. La muestra fue puesta a digerir durante 2 horas a una temperatura de 350 grados centígrados. El equipo utilizado fue Buchi K-435. Después de digeridas las muestras, estas fueron puestas a enfriar para posteriormente ser destiladas usando un equipo Buchi Kjelflex K-360. Se utilizaron matraces donde se deposito el hidróxido de amonio. Para la titulación se utilizó la muestra destilada a la cual se le añadió el ácido clorhídrico 0.1 N hasta neutralizar la muestra. De lo anterior se obtiene el total de N presente en la muestra el cual se multiplicada por el factor 6.25 para llegar al contenido de proteína cruda de la muestra.

Extracto etéreo por el método 962.09 de la A.O.A.C. (1990), Se utilizó muestra proveniente de la extracción de humedad. En la balanza analítica se pesaron aproximadamente 2 g de muestra previamente molida. Se utilizaron cartuchos de celulosa: un cartucho de 3 cm al que se le agrego una cantidad de 2 g y otro cartucho de 8 cm una cantidad de 4 g. Se sometió a extracción con solvente

orgánico (éter) durante 6 horas en un Aparato Soxhlet Gerhardt EV16. Las muestras después de la extracción fueron retiradas del éter y puestas a orear por 30 min aproximadamente, posteriormente fueron deshidratadas y pesadas para su posterior cálculo.

La fibra detergente neutro (FDN) se determinó por el método de Van Soest 1991. Se utilizó 1 g de muestra previamente deshidratada a la cual se le añadió 100 ml de solución detergente neutro y dos gotas de α -amilasa. Se dejó en punto de ebullición por 60 min, después de digerir la muestra esta fue filtrada con papel filtro Whatman #541. Las muestras ya filtradas fueron deshidratadas y pesadas para su posterior análisis.

Las digestibilidades fueron determinadas por el método de Tilley y Terry (1963). Se utilizó 5 g de muestra previamente deshidratada la cual fue puesta en tubos cerrados para después ser incubadas en una solución buffer (Mc Dougal) adicionada de inóculo ruminal y dióxido de carbono e incubadas en baño maría por 30 y 48 hrs. Después de incubadas las muestras, estas fueron centrifugadas para dejar solo el contenido sólido de la muestra. Posteriormente fueron deshidratadas y pesadas para determinar el contenido de digestibilidad de la MS (DMS), para la DMO se siguió el método de cenizas y para la digestibilidad de la FDN se usó la determinación de FDN en el residuo.

A partir de una muestra de aproximadamente 100 g de material fresco de cada ensilado en gabinete se separaron las partes de hoja y tallo de las de grano. Cada una de ellas se secó a 100°C y se pesó; con estos pesos se calculó la razón hoja tallo: grano.

El contenido de almidón fue determinado aplicando la técnica de digestibilidad *in vitro* del almidón descrita por Rodríguez *et al.* (2001). Las muestras fueron molidas y pesadas (0.5g) posteriormente depositadas en un tubo de 20 ml con tapa, se agregó 10 ml de H₂O destilada y se dio agitación utilizando vortex. Los tubos se pusieron a 100 ° C en baño María durante 3 horas. A las muestras se les dio

vortex cada 10 minutos durante los primeros 30 minutos, después cada 30 minutos. Se agrego 10 ml de solución de búfer-enzima y una gota de tolueno en cada tubo y se mezcló. Posteriormente los tubos fueron incubados a 50°C en baño María por 3 horas. Los tubos fueron retirados y se les agrego 2 ml de ZnSO₄ al 15% y se colocaron en agua helada. Se filtro cerca de 0.3 ml de la solución del tubo en un tubo de vidrio, utilizando un papel filtro del #4. Se transfirió 4 ml de glucotall (0- reactivo de Toluidina: 0- toluidina 6% v/v y tiourea en el ácido acético glacial [utilizamos Sigma 635-6]) en probetas y se agrego 50 µl del filtrado. Se dio vortex e incubo a 100 ° C en baño María durante 10 minutos. Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro de uv/vis, a una longitud de onda a 630 nm.

El análisis estadístico se conformó de dos estudios; el primero consistió de cuatro acercamientos, el primer acercamiento fue con análisis de varianza para todos los ensilados de maíces híbridos sin considerar procedencia, el diseño fue completamente al azar con número distinto de repeticiones (2 a 10) por lo que se usó la suma de cuadrados tipo III. El segundo fue formar una matriz de correlaciones entre todos los componentes nutrimentales determinados y calculados en el estudio. La idea de este análisis fue identificar componentes nutrimentales divergentes y convergentes entre sí.

El tercero consistió en análisis de varianza agrupando los ensilados de maíces híbridos por su contenido de FDN, PC y almidón. Con base a FDN se formaron 5 grupos identificados por los siguientes contenidos: 31 a 40%; 41 a 50%; 51 a 60%; 61 a 70% y mayor a 70%. Para PC se formaron 4 grupos con los siguientes contenidos: 6.1 a 7%; 7.1 a 8%; 8.1 a 9% y mayor a 9 %. Para el contenido de almidón se formaron 4 grupos con los siguientes contenidos: 1 a 10%; 11 a 20%; 21 a 30% y mayor a 30%.

El cuarto acercamiento consistió en que se compararon cuatro ensilados de maíces híbridos con dos procedencias distintas mediante ANDEVA bajo un modelo completamente al azar en arreglo factorial 4 x 2 y dos repeticiones. Los

híbridos fueron: Cebú, Cobra, Oso y Tigre, mientras que las procedencias fueron Arandas y Guadalajara, Jal.

Un segundo estudio tuvo dos acercamientos; el primer acercamiento consistió en determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro en 15 ensilados de maíces híbridos, sin considerar procedencia de los ensilados. Esta información se analizó por medio de un análisis de varianza y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

El segundo acercamiento consistió en comparar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro con dos tiempos de fermentación distintos (30 y 48 horas) en ensilados de maíces híbridos de dos orígenes distintos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación en las concentraciones de componentes nutrimentales

Únicamente en los contenidos de total de nutrientes digestibles y energías digestible y metabolizable no se encontraron diferencias ($p>0.05$) entre los ensilados de maíces híbridos. En los contenidos de MS, PC, EE, hoja y tallo y grano es donde se encontró la mayor variación entre híbridos, ya que en estas variables se pudo conformar tres grupos distintos. En las variables restantes: cenizas, FDN, DMS, DMO, DFDN y almidón se registraron diferencias ($p<0.05$) entre los híbridos, pero con una menor dispersión al conformarse un máximo de dos grupos (Cuadro 5).

Los híbridos Bisonte, Cebú, DK2020Y y MD8U81 mostraron el más bajo contenido de MS (22 a 23%) y el híbrido Puma el máximo valor (40.59% MS) cercano al doble de lo registrado en los híbridos ya mencionados (Cuadro 5). El contenido de MS del material ensilado depende del estado de madurez de la planta al momento de la cosecha (Roth y Lauer, 1997) y en algunos casos a la aplicación de pre-secado antes de picar y colocar en el silo, aunque en maíz es poco común la aplicación de pre-secado. Por tanto, la variación entre híbridos en el contenido de MS pudo deberse a una decisión de manejo de cuando cosechar, que a variaciones ocasionadas por genotipo.

Terrazas *et al.* (2008) encontraron valores de hasta 40% de MS lo que coincide con los valores observados en el presente estudio. Boschini *et al.* (2001) registraron contenidos mínimos de 21% de MS, lo que también coincide con los resultados encontrados en este estudio. Por su parte, el Departamento de Servicios Técnicos de Alpura (2007) registró valores similares a los encontrados en este trabajo, con un rango de 24 a 29% de MS.

Los contenidos mínimo y máximo de PC fueron 6.10 y 8.80% en los ensilados de híbridos DK2025 y Cebú, respectivamente (Cuadro 5). Esta variación de poco más de dos unidades porcentuales, puede originar una gran diferencia en el rendimiento de PC por superficie al multiplicar la concentración por el rendimiento de forraje. También es de interés que el valor mínimo de PC y el encontrado en otros tres híbridos (DK2026, Pantera y Puma) esté por debajo del 7% considerado como el mínimo de PC, para asegurar una buena alimentación de la población bacteriana del rumen y, con ello, dar una condición adecuada para evitar una caída en el consumo de alimento por parte del animal (NAS, 1981; Van Soest, 1982).

Los valores de PC obtenidos en este trabajo tuvieron un rango de 6.1 a 8.8%. Estos valores están dentro del rango observado por Peña *et al.* (2004), quienes informan valores en un rango de 6.9 a 9.7%, que son semejantes a los de esta investigación y similares a los obtenidos por Martínez *et al.* (2004), Nuñez *et al.* (2007), el Departamento de Servicios Técnicos de Alpura (2007) y Rivas (2010) con un rango de 6.7 a 10.41%. Sin embargo, Fuentes *et al.* (2001) obtuvieron valores menores a los reportados por este trabajo, con un rango de 4.9 a 7.58%.

En extracto etéreo la diferencia entre el valor mínimo (5.13%) y máximo (8.67%) fue superior a las tres unidades porcentuales, estos valores se encontraron respectivamente en Pantera y MD8U81 respectivamente. El híbrido Pantera también mostró los valores más bajos en PC, mientras que el MD8U81 fue de los híbridos con menor contenido de MS (Cuadro 5). Los valores reportados en este trabajo están por arriba a los reportados por FEDNA (2004), los cuales están en un rango de 3.56 a 4.74%.

Estos valores en el porcentaje de EE podrían sugerir una mejora en la composición química de los híbridos, lo que conlleva un porcentaje mayor de energía.

La proporción de hoja y tallo mostró una gran variación desde un mínimo de 65 a un máximo de 97% del peso y a consecuencia de lo anterior, también existió una gran variación desde 3 hasta 35% en la proporción de grano (Cuadro 5).

La variación en el aporte de estos componentes al igual que en el contenido de MS tiene un componente ambiental grande, que es el estado de madurez de la planta al momento de la cosecha.

Valores similares fueron reportados por Guadalupe *et al.* (2008), con porcentajes de 8 hasta 40 en contenido de grano y de 92 hasta 60 en contenido de hoja y tallo, respectivamente. Enríquez *et al.* (2003) reportaron un valor para proporción hoja y tallo y grano de 50 y 50%, respectivamente, el cual está por arriba a lo encontrado en este trabajo. En general, a estados más inmaduros el aporte de grano puede esperarse sea menor que a estados avanzados de madurez. Sin embargo, a un mismo estado de madurez si podrían esperarse diferencias en el aporte de grano (Coblentz, 1998).

Las diferencias en las concentraciones de los componentes nutrimentales permiten señalar que la población evaluada es distinta en calidad nutrimental. Esta diferencia podría deberse al genotipo y estado de madurez de la planta a la cosecha y al ambiente en el que creció el cultivo. Con esta afirmación no se intenta dilucidar cuál de estos factores fue el determinante para dar estas variaciones. La diferente calidad nutrimental evidenciada, permitirá discernir si existen divergencias o convergencias entre las concentraciones de estos componentes nutricionales.

CUADRO 5. COMPONENTES NUTRIMENTALES DEL MATERIAL ENSILADO DE 15 MAÍCES HÍBRIDOS.

Maíz	N	MS	D.E	PC	D.E	EE	D.E	Cen	D.E	FDN	D.E	H y T	D.E	Gra	D.E
A7573	4	28.60bc	3.84	7.72abc	0.63	8.59a	0.57	6.60ab	0.30	57.96ab	9.58	89.82ab	2.23	10.18bc	2.23
BISONTE	6	23.40c	2.82	8.24abc	0.70	6.67ab	1.48	6.98ab	0.10	55.05ab	11.74	85.89ab	5.92	14.10bc	5.92
CEBÚ	4	22.58c	5.76	8.80a	0.92	7.83b	0.47	7.32ab	0.14	52.13ab	8.20	74.66bc	11.57	25.34ab	11.57
COBRA	10	28.72bc	4.75	7.66abc	0.97	6.52abc	0.80	6.74ab	0.24	51.43ab	1.52	78.47abc	4.02	21.53abc	4.02
DK2020Y	2	23.46c	0.01	7.52abc	0.01	5.88ab	0.01	5.88ab	0.02	50.88ab	1.30	65.27c	1.02	34.73a	1.02
DK2025	6	36.33b	4.99	6.10c	0.36	7.20ab	1.06	5.75ab	0.44	55.53ab	7.92	79.54abc	3.31	20.46abc	3.31
DK2026	2	36.16b	0.01	6.52bc	0.01	7.12ab	0.01	6.25ab	0.12	48.96b	1.25	81.72abc	1.20	18.28abc	1.20
IMPALA	4	27.0bc	1.15	8.73ab	0.02	7.05ab	0.01	8.34a	0.03	56.88ab	7.46	97.75a	0.96	2.25c	0.96
MD8U81	2	23.06c	0.02	7.83abc	0.02	8.67a	0.01	6.08ab	0.01	70.0a	1.10	90.70ab	1.11	9.30bc	1.11
MD9951	4	29.42bc	5.98	7.50abc	0.48	8.30a	0.66	5.66ab	0.23	66.68ab	13.88	78.65abc	8.53	21.35abc	8.53
OSO	8	32.16bc	4.89	7.44abc	1.04	5.48ab	0.84	6.12ab	0.29	49.03b	11.27	84.08abc	10.80	15.91abc	10.80
PANTERA	2	31.01bc	0.02	6.56bc	0.02	5.13ab	0.01	5.51ab	0.01	60.67ab	1.60	97.80 ^a	0.09	2.20c	0.09
PUMA	2	40.59 ^a	0.01	6.95abc	0.02	5.31ab	0.01	5.36ab	0.01	47.74b	2.50	65.79c	0.08	34.21a	0.08
TIGRE	6	23.14c	2.15	8.77ab	1.20	5.90ab	0.65	7.04ab	0.24	53.46ab	6.25	85.26ab	9.63	14.74bc	9.63
TIGRE Y	2	32.61bc	0.02	7.26abc	0.01	7.37ab	0.02	4.99b	0.01	45.35b	1.10	71.98bc	1.15	28.02ab	1.15
Media		29.09		7.67		6.46		6.55		53.97		82.36		17.63	
Mediana		27.80		7.80		2.00		1.70		50.70		82.70		17.37	
Moda		34.60		7.10		3.00		1.80		49.70		71.30		28.70	
D.E		6.75		1.07		2.09		1.28		9.08		9.89		9.89	

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p > 0.05$). MS=materia seca, PC=proteína cruda, EE= extracto etéreo, CEN= cenizas, FDN= fibra detergente neutro, H y T= aporte de hoja y tallo, Gra= aporte de grano, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco, excepto MS que es % del peso fresco.

**CUADRO 5 CONTINUACIÓN. DIGESTIBILIDADES Y ESTIMACIONES DE ENERGÍAS DE 15
ENSILADOS DE MAÍCES HÍBRIDOS**

Maíz	N	DMS	D.E	DMO	D.E	DFDN	D.E	Alm	D.E	TND	D.E	ED	D.E	EM	D.E
A7573	4	68.80b	2.86	70.44b	3.61	48.85ab	13.95	19.55b	1.85	85.36	0.27	3.76	0.01	3.1	0.01
BISONTE	6	72.96ab	1.90	74.55ab	2.67	54.79ab	9.08	23.28ab	3.03	83.57	5.74	3.68	0.25	3.0	0.21
CEBÚ	4	72.87ab	1.09	73.42ab	0.77	51.59ab	9.63	17.50b	13.74	76.68	5.80	3.38	0.21	2.8	0.21
COBRA	10	71.89ab	2.28	73.47ab	2.49	50.59ab	5.36	24.15ab	5.44	80.68	3.04	3.55	0.13	2.9	0.11
DK2020Y	2	70.22ab	1.10	73.73ab	1.10	46.74ab	2.30	21.40ab	2.30	77.96	2.31	3.44	0.02	2.8	0.04
DK2025	6	70.78ab	0.67	73.07ab	1.70	51.60ab	7.13	23.55ab	3.52	84.33	4.75	3.72	0.21	3.1	0.17
DK2026	2	70.19ab	1.00	71.45ab	1.20	44.84ab	3.12	21.55ab	2.50	84.20	2.10	3.71	0.1	3.0	0.06
IMPALA	4	71.93ab	1.61	72.20ab	0.78	54.52ab	8.95	26.32ab	1.13	80.66	0.42	3.55	0.02	2.9	0.02
MD8U81	2	76.22a	1.20	76.41a	1.60	70.84a	2.80	21.65ab	1.90	86.67	3.20	3.82	0.09	3.1	0.02
MD9951	4	71.79ab	5.38	73.82ab	6.45	55.51ab	18.84	16.25b	4.97	81.77	4.96	3.60	0.22	3.0	0.18
OSO	8	72.16ab	1.65	73.36ab	2.06	45.76ab	16.46	27.20ab	2.74	81.41	3.20	3.63	0.14	3.0	0.12
PANTERA	2	76.00a	2.10	74.00ab	1.30	59.95ab	3.00	21.65ab	3.46	78.49	2.96	3.46	0.05	2.8	0.01
PUMA	2	74.07ab	0.90	75.52a	1.00	40.19ab	2.10	29.10ab	2.25	82.73	2.16	3.65	0.09	3.0	0.02
TIGRE	6	72.14ab	2.11	73.36ab	2.29	52.52ab	8.65	24.51ab	4.16	80.81	4.11	3.56	0.18	2.9	0.15
TIGRE Y	2	69.23b	1.00	70.64b	1.20	37.16b	2.90	34.1a	1.87	83.73	2.11	3.69	0.07	3.0	0.04
Media		71.95		73.32		51.32		23.50		81.93		3.61		2.9	
Mediana		71.90		73.70		51.40		22.60		82.20		3.60		3.0	
Moda		67.10		68.20		39.20		27.90		77.50		3.40		2.8	
D.E		2.52		2.62		10.83		5.74		4.11		0.18		0.14	

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, Alm=almidón, TND= total de nutrientes digestibles, ED= energía digestible, EM= energía metabolizable, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

Divergencias y convergencias entre la concentración de componentes nutrimentales

El contenido de MS se correlacionó ($P < 0.05$) con los contenidos de PC, FDN, grano, TND y las energías digestible y metabolizable. En los dos primeros la correlación fue negativa, mientras que con grano, TND y las energías digestible y metabolizable fue positiva. El coeficiente de correlación más alto (-0.71) fue con PC (Cuadro 6). En general plantas de mayor madurez tienen mayor contenido de MS por lo que la tendencia a registrar menor PC puede explicarse por pérdidas de hoja verde o reducción en la fotosíntesis por auto-sombreo; las hojas verdes o con gran actividad fotosintética muestran mayor concentración enzimática y por tanto de PC. La tendencia a menor FDN al incrementar el contenido de MS podría explicarse por el desprendimiento de hojas amarillas y muertas que son ricas en FDN, pero también al aumento en el aporte de grano que tuvo una tendencia a incrementarse (coeficiente de correlación de 0.031) conforme el contenido de MS aumentaba. La tendencia en el aumento en grano y disminución en FDN explican la correlación positiva entre MS y TND y las energías digestible y metabolizable, ya que estas dos últimas se derivan del TND.

La tendencia de menor MS y mayor PC se evidencia en los híbridos Cebú y Bisonte, que tuvieron el mayor contenido de PC (más de 8%) y el menor contenido de MS (inferior a 24%). También resalta que en Puma el contenido de grano alcanzó 34%, dejando evidente que en algunos híbridos el cosechar plantas de menor madurez puede aumentar el contenido de PC, pero a costa de tener un menor aporte de grano. Resalta en relación a esto el híbrido DK2020Y que aun cuando el contenido de humedad fue de 23.4%, la concentración de PC fue de 7.5 % y el aporte de grano de 34.7%, lo que indica que las tendencias generales entre los contenidos de algunos componentes nutrimentales pueden no aplicarse a ciertos genotipos, lo que a su vez señala la importancia del mejoramiento genético.

Los contenidos de FDN y grano mostraron un coeficiente de correlación de -0.51 , que indica que aumentar el aporte de grano disminuye el de FDN (Cuadro 6). Esta disminución puede explicarse con base en que la formación de grano implica un avance en el estado de madurez de la planta, pero con ello puede darse un desprendimiento de las hojas basales muertas ricas en FDN y que el grano tiene un menor contenido de FDN en comparación a hojas y tallos. Las correlaciones positivas entre el contenido de FDN y las digestibilidades evaluadas pueden ser derivadas que a mayor FDN; es decir, hay menos grano y por tanto se afecta menos la actividad de las bacterias celulolíticas al evitarse una caída en el pH.

Los híbridos Puma y DK2020Y son un ejemplo de la correlación FDN y grano, ambos con un contenido de FDN menor a 51% y de grano poco mayor a 34%. Sin embargo, hay híbridos que no mostraron apego a esta tendencia como es el caso de Oso que mostró un contenido de FDN menor a 51%, pero con un contenido de grano menor a 16%. Lo anterior sugiere que estas correlaciones pueden ser alteradas mediante mejoramiento genético.

Martínez *et al.* en 2003 y 2004 encontraron que con el aumento de PC disminuye el contenido de grano, MS y DMS. El valor en cuanto a la relación PC con MS coincide con lo observado en el presente estudio. Núñez *et al.* (2003) encontró que un aumento de FDN disminuye la DMS, lo cual es diferente a lo encontrado en este estudio, el cual se encontró que un aumento en FDN al tiempo que también aumentaba la DMS DMO y FDN. Mertens (2002) encontró que un aumento de FDN disminuye el contenido de grano y PC. La relación encontrada entre FDN y grano coincide con el presente estudio.

CUADRO 6. CORRELACIONES DE LOS COMPONENTES NUTRIMENTALES DE 15 ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO.

	MS	PC	FDN	Gra	DMS	DMO	DFDN	ALM	TND	ED	EM
MS	1	-0.71*	-0.27*	0.03*	-0.20	-0.24	-0.31*	0.23	0.36*	0.36*	0.35*
PC		1	0.17	0.13	-0.20	0.12	0.27	-0.10	-0.40*	-0.40*	0.39*
FDN			1	-0.51*	0.44*	0.45*	0.91*	-0.28*	0.17	0.17	0.18
Grano				1	-0.36*	-0.23	-0.49*	0.01	-0.13	-0.13	-0.13
DMS					1	0.87*	0.75*	0.21	0.20	0.20	0.19
DMO						1	0.70*	0.20	0.25	0.25	0.24
DFDN							1	-0.11	0.15	0.15	0.15
ALM								1	0.44*	0.44*	0.44*
TND									1	0.99*	0.99*
ED										1	0.99*
EM											1

MS= materia seca, PC= proteína cruda, Gra= grano FDN= fibra detergente neutro, DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, Alm= almidón, TND= total de nutrientes digestibles, ED= energía digestible, EM= energía metabolizable.

Clasificación por nivel de FDN

Al agrupar los híbridos por contenido de FDN solamente permitió detectar un incremento ($p < 0.05$) en las digestibilidades de MS, MO y FDN, conforme el contenido de FDN fue mayor (Cuadro 7). Esta tendencia podría ser cuestionable dado que a mayor FDN se espera un mayor contenido de fibra y como parte de ello mayor lignina, lo que a su vez tendería a disminuir las digestibilidades. Sin embargo, el menor contenido de FDN se asoció a una tendencia a mayor contenido de grano (de 20 a 21%) lo que sumado al hecho de que el material ensilado tiene un pH ácido (4.2), pudo haber conducido a un ambiente ácido lo que limitó la actividad de las bacterias celulolíticas. También existió una tendencia a mayor contenido de almidón conforme el contenido de FDN fue menor. El contenido de TND fue mayor ($p < 0.05$) hacia los valores extremos de FDN (nivel más bajo y más alto) y menor a los valores intermedios de FDN (entre 41 y 70% de FDN). Las energías digestible y metabolizable siguieron un patrón de respuesta similar al de TND debido a que este componente es la base de cálculo de ambas.

El contenido de cenizas fue influido ($p < 0.05$) por el nivel de FDN; la tendencia fue la de aumentar cenizas conforme aumentó el contenido de FDN hasta el nivel de 50-60%, para posteriormente ir disminuyendo de nueva cuenta quedando los niveles extremos de FDN (el más bajo y el más alto) con similar ($p > 0.05$) nivel de cenizas (5.31 y 6.03% respectivamente).

Considerando como criterio el nivel de FDN y su asociación con los otros componentes nutrimentales, el mejor compromiso es una concentración de FDN en el material ensilado de entre 41 a 60% con aporte de grano entre 17 y 21% y digestibilidad de la MS entre 70 y 73%.

CUADRO 7. COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE 15 ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO, AGRUPADOS POR CONTENIDO DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO.

FDN	N	MS	D.E	PC	D.E	EE	D.E	CEN	D.E	H Y T	D.E	Gra	D.E
30-40%	2	38.61	0.01	5.86	0.01	7.84	0.02	5.31b	0.02	79.2	0.02	20.8	0.02
41-50%	32	29.56	6.84	7.62	1.06	6.21	0.98	6.42ab	0.34	78.7	10.12	21.4	10.12
51-60%	14	27.64	6.52	7.90	1.32	5.35	0.81	7.52a	0.33	82.6	8.16	17.4	8.16
61-70%	12	29.77	6.62	7.77	0.78	7.61	0.79	6.15ab	0.35	90.5	7.41	9.5	7.41
71-80%	4	23.65	0.68	7.87	0.05	8.25	0.06	6.03ab	0.03	88.4	2.69	11.6	2.69
Media		29.47		7.35		6.96		6.25		83.9		15.3	

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). MS=materia seca, PC=proteína cruda, EE= extracto etéreo, CEN= cenizas, FDN= fibra detergente neutro, H y T= aporte de hoja y tallo, Gra= aporte de grano, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco, excepto MS que es % del peso fresco.

**CUADRO 7 CONTINUACIÓN. DIGESTIBILIDAD Y ESTIMACIONES DE ENERGÍA DE 15
ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO, AGRUPADOS POR CONTENIDO DE FIBRA DETERGENTE
NEUTRO**

FDN	N	DMS	D.E	DMO	D.E	DFDN	D.E	ALM	D.E	TND	D.E	ED	D.E	EM	D.E
30-40%	2	69.83b	0.25	70.29c	0.30	24.0e	0.52	29.35	0.10	87.15a	0.50	3.84a	0.32	3.15a	0.10
41-50%	32	70.70b	2.34	72.36bc	2.59	44.43d	4.55	23.78	5.65	80.90bc	3.35	3.56bc	0.15	2.92bc	0.12
51-60%	14	73.10ab	1.78	73.76bc	1.54	55.4c	3.30	22.23	7.89	79.92c	4.56	3.52c	0.20	2.88c	0.16
61-70%	12	72.84b	1.35	74.35ab	1.69	67.82b	2.41	24.08	3.39	84.68abc	3.25	3.73abc	0.14	3.06abc	0.12
71-80%	4	76.33a	0.13	77.91a	1.73	70.33a	0.57	21.10	0.64	86.37ab	0.35	3.80ab	0.02	3.12ab	0.01
Media		72.53		73.73		49.11		23.95		83.75		3.68		3.00	

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, Alm=almidón, TND= total de nutrientes digestibles, ED= energía digestible, EM= energía metabolizable, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

Clasificación por nivel de PC

Al agrupar los híbridos por nivel de PC se detectaron diferencias ($p < 0.05$) en los contenidos de MS, EE, CEN, almidón, TND y energías digestible y metabolizable (Cuadro 8). Los contenidos de estos componentes nutrimentales aumentaron conforme el nivel de PC fue menor, alcanzando valores máximos cuando el nivel de PC fue de 5.1 a 7%. La tendencia a mejores valores en estos componentes nutrimentales a menor contenido de PC pareciera muy contradictoria; sin embargo, podría explicarse por la tendencia a mayor contenido de grano conforme el nivel de PC disminuye. Este mayor contenido de grano a su vez tiende a dar una mayor concentración de almidón y de contenido energético. La planta de maíz a ser ensilada conforme se le deja avanzar en madurez elabora más grano pero pierde hojas verdes o reducen su actividad fotosintética y con ello reducen su concentración enzimática y con ello nivel de PC.

Cosechar plantas de maíz que den un material ensilado con menos de 7% de PC podría ser poco acertado ya que el aporte de N a la población bacteriana del rumen puede ser muy deficiente, intentar cosechar las plantas de maíz en estados muy juveniles podría aumentar el contenido de PC pero con muy bajo nivel de MS lo que a su vez podría limitar el consumo total de MS por parte del animal, limitando con ello el aporte nutrimental del forraje ensilado. Por tanto, considerando como criterio el contenido de PC el mejor compromiso sea buscar contenidos de PC entre 8 y 9% para obtener materiales ensilados con un contenido de MS cercano a 30%, de almidón de 22% y de grano no menor al 17%.

**CUADRO 8. COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE 15 ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO,
AGRUPADOS POR CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA.**

PC	N	MS	D.E	EE	D.E	CEN	D.E	FDN	D.E	H Y T	D.E	Gra	D.E
5.1-7	16	37.09a	6.50	6.58a	0.75	5.90b	0.40	51.63	7.65	79.70	8.22	20.3	8.22
7.1-8	24	27.86b	3.93	7.61a	0.79	6.13b	0.35	55.51	11.14	83.50	10.82	16.5	10.82
8.1-9	18	26.90b	3.02	6.09a	0.32	6.82b	0.16	53.68	7.93	84.10	10.32	15.9	10.32
9.1-10	16	19.25c	1.31	2.66b	0.19	9.20a	0.11	54.96	4.21	79.60	4.88	20.4	4.88
Media		27.05		5.33		6.29		53.92		81.71		18.1	

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). MS=materia seca, PC=proteína cruda, EE= extracto etéreo, CEN= cenizas, FDN= fibra detergente neutro, H y T= aporte de hoja y tallo, Gra= aporte de grano, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco, excepto MS que es % del peso fresco.

CUADRO 8 CONTINUACIÓN. DIGESTIBILIDAD Y ESTIMACIONES DE ENERGÍA DE 15 ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO, AGRUPADOS POR CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA

PC	N	DMS	D.E	DMO	D.E	DFDN	D.E	ALM	D.E	TND	D.E	ED	D.E	EM	D.E
5.1-7	16	71.88	2.24	72.65	2.25	48.41	10.31	24.08a	5.01	83.43a	3.75	3.67a	0.17	3.01a	0.14
7.1-8	24	71.69	3.07	73.89	3.39	51.71	12.82	22.72a	5.13	82.77a	3.55	3.65a	0.16	2.99a	0.13
8.1-9	18	72.60	1.34	73.89	1.21	53.22	7.49	26.61a	3.31	81.97a	2.39	3.61a	0.11	2.96a	0.09
9.1-10	16	71.25	2.05	71.92	1.70	51.85	7.23	15.78b	7.99	74.46b	2.19	3.28b	0.10	2.69b	0.08
Media		71.87		73.08		51.26		21.89		80.56		3.54		2.9	

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, Alm=almidón, TND= total de nutrientes digestibles, ED= energía digestible, EM= energía metabolizable, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

Clasificación por nivel de almidón

La clasificación por nivel de almidón permitió encontrar diferencias ($p < 0.05$) en los contenidos de MS, PC, EE, CEN, TND y energías digestible y metabolizable (Cuadro 9). Los contenidos de MS, EE, TND y energías aumentaron y los de PC y CEN disminuyeron al aumentar el contenido de almidón. El mayor cambio en la magnitud de los contenidos de MS, PC, EE y CEN se dan al pasar del nivel más bajo en almidón (1 a 10%) al siguiente nivel (11 a 20% de almidón), posterior a ello los cambios en las magnitudes son relativamente pequeños.

El incremento en almidón y MS pueden asociarse a plantas de mayor madurez y con ello un mayor aporte de grano que mostró una tendencia a ser mayor conforme el nivel de almidón aumentaba. El grano es el componente botánico de la planta de maíz más rica en almidón. El aumento en almidón ocasiona el mayor contenido de TND y este a su vez el de las energías, ya que son estimadas a partir del contenido de TND.

Usando como criterio la concentración de almidón el mejor valor se encuentra en un rango de 11 a 20% para dar contenidos de MS cercano a 30%, de PC cercano a 8% y de grano entre 17 y 19%.

**CUADRO 9. COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE 15 ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO,
AGRUPADOS POR CONTENIDO DE ALMIDÓN.**

Alm	N	MS	D.E	PC	D.E	EE	D.E	CEN	D.E	FDN	D.E	H Y T	D.E	Gra	D.E
1-10	2	17.6b	0.10	9.6a	0.12	1.63b	0.12	9.4a	0.10	59.4	2.20	84.6	1.20	15.3	1.20
11-20	14	28.9ab	5.53	7.7ab	1.18	7.5a	0.87	6.4b	0.28	56.5	9.62	81.0	7.90	18.9	7.90
21-30	46	29.5ab	6.93	7.5b	1.00	6.3a	0.86	6.5b	0.37	53.3	8.95	83.1	10.52	16.8	10.52
31-40	2	32.6a	0.12	7.2b	0.10	7.3a	0.09	4.9b	0.12	45.3	1.10	71.9	0.90	28	1.20
Media		26.45		7.94		4.86		6.62		53.35		80.19		19.2	

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). MS=materia seca, PC=proteína cruda, EE= extracto etéreo, CEN= cenizas, FDN= fibra detergente neutro, H y T= aporte de hoja y tallo, Gra= aporte de grano, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco, excepto MS que es % del peso fresco.

CUADRO 9 CONTINUACIÓN. DIGESTIBILIDAD Y ESTIMACIONES DE ENERGÍA DE 15 ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO, AGRUPADOS POR CONTENIDO DE ALMIDÓN

Alm	N	DMS	D.E	DMO	D.E	DFDN	D.E	TND	D.E	ED	D.E	EM	D.E
1-10	2	73.80	1.20	74.09	1.10	59.90	2.00	71.60b	0.90	3.20b	0.06	2.60b	0.90
11-20	14	70.60	3.63	72.19	4.43	50.70	13.21	81.30a	4.78	3.50a	0.21	2.90a	0.17
21-30	46	72.30	1.94	73.75	1.70	51.70	9.94	82.40a	3.39	3.60a	0.15	3.00a	0.12
31-40	2	69.20	1.10	70.64	1.12	37.20	2.30	83.70a	0.60	3.60a	0.09	3.00a	0.10
Media		71.45		72.66		49.16		79.6		3.47		2.9	

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, Alm=almidón, TND= total de nutrientes digestibles, ED= energía digestible, EM= energía metabolizable, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

Digestibilidades

Digestibilidad y tiempo de fermentación de la MS, MO y FDN por híbrido de maíz

El Cuadro 10 muestra que en el caso de la DMS, DMO y DFDN se encontró un efecto significativo ($p < 0.05$) entre los diferentes híbridos. Para la digestibilidad de la MS se observó que hay una diferencia de 3 puntos porcentuales entre 30 y 48 h y los valores reportados fueron de 69.08 y 72.95%, respectivamente. Para el caso de la DMO la diferencia fue de casi 2 puntos porcentuales con valores entre 30 y 48h de 71.04 y 73.32%, respectivamente y para la DFDN la diferencia entre 30 y 48 hrs fue de casi 6 puntos porcentuales con valores para 30 y 48h de 45.20 y 51.32%, respectivamente.

Puesto que los valores de la digestibilidad *in vitro* entre 30 y 48h tienen 18 horas de diferencia la digestibilidad a las 30 h tiende a ser menor por un tiempo más corto de exposición del material ensilado. Hallada (2003) reporta un valor de 45% en la DMS a las 30h, el cual está muy por debajo a lo observado en este estudio. En cuanto a la DMS con un tiempo de fermentación de 48h Di Marco *et al.* (2005) y Tassoul (2004) encontraron valores de 61.9 y de 65.7%, los cuales están por debajo a los reportados en este estudio. Para la DFDN Hoffman *et al.* (2007) informan de una diferencia a 30 y 48 h de 8 a 9 unidades porcentuales con valores entre 30 y 48h de 45.5 y 60.02%, respectivamente. Estos valores están por arriba a los reportados en este trabajo. La NRC (2002) también encuentra una diferencia de hasta 10 unidades porcentuales en la digestibilidad de la FDN a 30 y 48h de fermentación y de igual forma reporta valores para 30 y 48h de 55 y 65%, respectivamente.

La tendencia a valores altos en la digestibilidad *in vitro* de ensilados de maíces híbridos nos puede sugerir una mejora genética en estos tipos de híbridos, ya que mejorando los diferentes componentes de la planta también se incrementa su calidad nutritiva.

CUADRO 10. DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, MATERIA ORGÁNICA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO DE 15 ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO.

Maíz	N	DMS	DMO	DFDN
MD9951	8	70.55abc	71.33ab	53.07abc
COBRA	20	70.34abc	72.34ab	47.12abc
A7573	8	68.06c	69.95b	47.25abc
DK2025	12	69.54bc	71.79ab	48.72abc
DK2026	4	68.78bc	70.68b	41.2bc
BISONTE	12	71.15abc	73.15ab	51.2abc
MD8U81	4	70.75ab	74.ab	57.41ab
TIGRE	12	70.88abc	71.85ab	49.75abc
DK2020Y	4	68.73bc	72.99ab	43.33bc
PANTERA	4	71.71ab	73.78ab	57.45ab
OSO	12	70.71abc	72.39ab	42.35bc
IMPALA	8	70.51abc	71.20b	51.61abc
TIGRE Y	4	68.28c	70.30b	35.16c
CEBÚ	8	71.2abc	72.42ab	48.04abc
PUMA	4	72.6ab	74.29ab	45.88bc
Media		70.63	72.16	48.12

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, Todas las variables expresadas en % del peso seco.

CUADRO 10 CONTINUACIÓN. TIEMPOS DE DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, MATERIA ORGÁNICA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO A 30 Y 48 HORAS

TIEMPO	N	DMS	D.E	DMO	D.E	DFDN	D.E
30 h	64	69.08b	2.13	71.04b	2.64	45.20b	11.1
48 h	64	72.95a	2.50	73.32a	2.60	51.32a	10.70

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p > 0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

Digestibilidad y tiempo de fermentación de la MS, MO y FDN por contenido de PC

En cuanto al contenido de PC y su efecto sobre la DMS, DMO y DFDN se encontró que un rango de 7.1 a 9%. Se obtuvieron los mejores resultados en la DMO, sin embargo aunque no se encontró efecto en la DMS y DFDN si se encontró una tendencia a mayor DMS y DFDN en rango de 7.1 a 9% de PC (Cuadro 11).

Digestibilidad y tiempo de fermentación de la MS, MO y FDN por contenido de FDN

La concentración de FDN no tuvo efecto sobre la DMS y DMO; sin embargo se encontró que con un rango de FDN entre 51 a 60% se obtuvo la mejor respuesta en la DFDN (Cuadro 12).

Un porcentaje adecuado de FDN y una mejora en sus componentes puede contribuir a una mejor digestibilidad de la misma.

Digestibilidad y tiempo de fermentación de la MS, MO y FDN por contenido de almidón

En cuanto a la concentración de ALM se encontró que a un valor por arriba de 20% mejora la DMO. Aunque no se encontró efecto en la DMS y DFDN si hubo una tendencia a mayor DMS y DFDN con un porcentaje de ALM mayor a 20% (Cuadro 13).

Digestibilidad de la MS, MO y FDN de híbridos de maíz para ensilaje por origen

En el Cuadro 14 se observa que la digestibilidad de la MS y de la FDN por origen la DMS no presentó efecto ($p>0.05$); sin embargo, la DFDN mostró una tendencia ($p=0.09$) a mayor digestibilidad (+7 unidades porcentuales) en híbridos utilizados en Arandas, Jal.

CUADRO 11. DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, MATERIA ORGÁNICA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO DE ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO, AGRUPADOS DE ACUERDO AL CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA.

PC %	N	DMS	D.E	DMO	D.E	DFDN	D.E
5.1-7	40	69.94a	2.65	71.67b	2.31	44.08a	12.22
7.1-8	48	70.71a	3.40	72.53a	3.24	50.30a	12.60
8.1-9	28	71.24a	1.82	72.99a	1.82	50.23a	8.66
9.1-10	12	70.10a	2.09	70.92c	2.09	49.08a	7.18

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p > 0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

CUADRO 12. DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, MATERIA ORGÁNICA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO, DE ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO, AGRUPADOS DE ACUERDO AL CONTENIDO DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO.

FDN %	N	DMS	D.E	DMO	D.E	DFDN	D.E
30-40	4	70.45a	1.66	72.12a	1.32	35.96d	4.27
41-50	64	70.55a	2.23	72.18a	2.20	47.93b	11.68
51-60	28	71.40a	2.71	73.20a	2.94	55.61a	9.32
61-70	24	69.80a	3.05	71.62a	3.58	47.59b	10.66
71-80	8	69.38a	3.68	70.83a	3.87	41.23c	5.90

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p > 0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

CUADRO 13. DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, MATERIA ORGÁNICA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO DE ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO, AGRUPADOS DE ACUERDO AL CONTENIDO DE ALMIDÓN.

Almidón %	N	DMS	D.E	DMO	D.E	DFDN	D.E
5.1-10	4	69.56a	1.09	70.21b	1.04	49.60a	2.62
11-20	28	69.54a	2.11	71.39b	2.64	45.33a	13.86
21-30	90	70.88a	2.71	72.54a	2.81	49.64a	10.59
31-40	6	70.36a	3.59	72.36a	3.70	51.41a	13.26

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro, D.E= desviación estándar. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

CUADRO 14. . DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, MATERIA ORGÁNICA Y FIBRA DETERGENTE NEUTRO, DE ENSILADOS DE MAÍZ HÍBRIDO AGRUPADOS POR ORIGEN.

Origen	N	DMS	DMO	DFDN
Arandas	16	70.8a	71.75a	39.4a
Guadalajara	16	70.4a	72.09a	46.1a

a, b... medias en igual columna con al menos una literal en común no son diferentes ($p>0.05$). DMS= digestibilidad de la materia seca, DMO= digestibilidad de la materia orgánica, DFDN= digestibilidad de la fibra detergente neutro. Todas las variables expresadas en % del peso seco.

8. CONCLUSIONES

- La calidad nutricia del ensilado de maíz depende del híbrido de maíz usado. No se obtuvieron diferencias en calidad nutricia según el origen.
- El contenido de MS mostró la máxima correlación ($r=-0.71$) con PC; FDN con DFDN ($r=0.91$); grano con DFDN ($r=-0.49$) y alm con EM ($r=0.44$).
- Agrupar los ensilados por contenido de proteína mostró que los ensilados con mayor cantidad de PC (9.1 – 10%) registraron menor contenido de MS, EE y DMO, y mayor contenido de cenizas. Los otros principios nutritivos y la digestibilidad de la materia seca y la fibra detergente neutro fueron similares.
- Agrupar los ensilados por contenido de almidón o contenido de fibra detergente neutro, no permitió detectar diferencias en calidad nutricia, solamente se manifestaron algunas diferencias en digestibilidad.
- La DMS fue similar en la mayoría de híbridos de maíz estudiados los cuales registraron un valor dentro del intervalo 68.73 - 72.6 %, la menor DMS correspondió a los híbridos A7573 y Tigre-Y cuyos resultados fueron 68.06 y 68.28 %, respectivamente.
- La DMO fue similar en todos los híbridos de maíz estudiados los cuales registraron un valor dentro del intervalo 69.95 – 74.29%.
- La DFDN registró mucha variación entre los distintos híbridos y en un mismo híbrido procedente de distinta localidad. Por esa razón, aún cuando estadísticamente no hubo diferencia en la DFDN al considerar todos los híbridos de maíz en conjunto, no obstante, al agrupar por contenido de FDN los ensilados de híbrido de maíz, el análisis mostró que a mayor contenido de FDN se registró incremento de la DMS, DMO y DFDN.
- En la evaluación nutricia de ensilados de maíz la magnitud de la digestibilidad depende del tiempo en que se exponga el material a fermentación, procurando que este tiempo no sea menor a 48 h.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Allen MS. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2000; 83:1598-1624.
- Allen MS and Oba M. Fiber digestibility of forages. Proc. 57 th Minnesota Nutr. Conf. and Protiva Tech. Symp., Extension Special Programs, Univ. Of MN, st. Paul. 1996.
- Allen MS and Oba M. Nutritionist's perspective on corn hybrids for silage. Proc. Silage: field to feedbunk. North American. Conference. 1997 Nraes-99:25-36.
- Andrade JG, Hunt CW, Pritchard GT, Kennington LR, Harrison JH, Kezar W and Mahanna W. Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. *J. Anim. Sci.* 2001; 79:2268–2275.
- Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 15th ed. Arlington, VA. 1990.
- Arieli A, Mabjeesh SJ and Shabi Z. In situ assessment of degradability of organic matter in the rumen of the dairy cow. *J. Dairy Sci.*, 1998; 81:1985-1990,
- Bal MA, Coors JG, and Shaver RD. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *J. Dairy Sci.* 1997; 80:2497–2503.
- Bal MA, Shinnors KJ, Straub RJ, Koegel RG and Shaver RD. Effect of rolling on ruminal *In situ* degradation of mature and immature whole-plant corn and stover silages. *J. Dairy Sci.* 1998; 81.Supl 1:334. (Abstr.)
- Bal MA, Shaver RD, Al-Jobeile H, Coors JG and Lauer JG. Corn silage hybrid effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2000; 83:2849–2858.
- Bates G. Corn silage. ExtensionTennessee University. 1999.
<http://uextension.tennessee.edu/publications/documents/sp434d.pdf>.

- Bertoia IM. Algunos conceptos sobre ensilado. Consideraciones para ensilaje y su cultivo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de las Lomas de Zamora. 2004. <http://mejorpasto.com.ar/unlz/2004/tx3>.
- Bianco RC, Astigarraga L, Hernández F, Núñez N y Mello R. Evaluación de ensilajes de maíz (ciclo medio y ciclo largo. II- Rendimiento, relación granoplanta, producción y composición de la leche en vacas Holando. XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. 2001. Cuba. Memorias. Pp2363-2367
- Binder DI, Sander DH and Walters DT. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agron. J.* 2000; 92:1228-1236.
- Bundy LG and Carter PR. Corn hybrid response to nitrogen fertilization in the Northern Corn Belt. *J. Prod. Agric.* 1988;1:99-104
- Boschini C., y Elizondo J. Rendimiento de forraje de dos materiales genéticos de maíz sembrados a diferentes distancias de siembra. *Revista Agricultura Tropical.* 2004; 34:87-92.
- Boschini C y Elizondo J. Desarrollo productivo y cualitativo de maíz híbrido para ensilaje. *Agronomía Mesoamericana.* 2004; 15(1): 31-37.
- Brandolini A y Salamini F. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. *International Experct Consulation.* Florence and Bergano. Italy 1985. p 458.
- Buxton, DR and MD Casler. Environmental and genetic effects on cell wall composition and digestibility. In: Jung HG, Buxton DR, Hatfield RDand Ralph J. (Ed.) *Forage Cell Wall Structure and Digestibility.* 1993. p 685. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- Buxton, DR and Redfearn DD. Improving forage quality-related characteristics of maize. 1997 pp. 23-28. IN: *Proc. With Dairy and Forage Industries.* U.S. Dairy Forage Research Center, Madison, WI., (Proc.)
- Cabanillas C R, Peñuñuri MF, Lizárraga G, Navarro P y Del C, Santacruz M I. Influencia de la fecha de siembra sobre la calidad y cantidad de forraje

producido por variedades de sorgo forrajero. Técnica Pecuaria en México. 1984. Suplemento 11.

- Campbell MM and Higgenbotham G. Processes in the fermentation of corn silage. 1999. <http://cestanislaus.ucdavis.edu/files/327.htm>
- Carlone MR and Russell WA. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different years of breeding. *Crop Sci.* 1987;27:465-470.
- Cusicanqui JA. and Joseph GL. Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal* 1999; 91:911-915.
- Cañeque MV y Sancha SJ. Ensilado de forrajes. Ed. Mundi Prensa. Madrid (España).1998. pp. 260
- Coblentz WK, Fritz JO, Cochran RC, Rooney WL and Bolsen KK. Protein degradation responses to spontaneous heating in alfalfa hay by in situ and ficin methods. *J. Dairy Sci.* 1998;80:700–713
- Cofré P, Soto P y Jahn E. Comportamiento agronómico y en ensilaje en microsilos de cereales pequeños. XXIII Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal (SOCHIPA), Chillán, Chile. 21-23 de Octubre. 1998. p. 69-70.
- Contreras-Govea, F. E. and Muck, R. E. Microbial inoculants for silage. *Focus on Forage*, 2006. 8(4).
http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/Microbial_Inoculants-FOF.htm
- Cox WJ, Kalonge S, Cherney DJ and Reid WS. Growth yield and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron. J.* 1993;85:341-347
- Crookstons, RK and Kurle JE. Using the kernel milk line to determine when to harvest corn silage. *J. Prod. Agric.* 1988;1:293-295
- Di Marco ON, Aello MS and Arias S. Digestibility and ruminal digestion kinetics of corn silage. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 2005;57(2):223-228.
- EDE, R. & BLOOD, F. F. Ensilado. 1970. Zaragoza, Acribia, p.132 .
- Elizondo J y Boschini C. Valor nutricional de dos variedades de maíz usadas en la producción de forraje para bovinos. *Pastos y Forrajes* 2003;26(4):347-352.

- Garcés MAL, Berrio RL, Ruiz AS, Serna de León JG y Builes AAF. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Rev. Lasall. Inv.* 2000; 1: 66-71.
- García A. Interpreting corn silage. USDA exex 4027 Dairy Science Analysis College of Agriculture & Biological Sciences / South Dakota State University. 2000.
- Goering HK and Van Soest PJ. In forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agric. Handbook No. 379. Ars-USDA, Washington, DC. 1970. Pages 8-11
- González CF, Peña RA, Robles EF y Jiménez GC. Producción y calidad de forraje del híbrido de maíz h-376 en diversos ambientes (INIFAP). XLIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Yucatán. 2008. Pág. 124
- González CF, Peña RA y Robles EF. Producción y calidad de forraje del híbrido de maíz h- 323. 2008. INIFAP. XLIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Yucatán .Pág. 120
- Grant R and Stock R. Harvesting and preserving hay crop silage. Cooperative Extension, Institute of Agricultural and Natural Resources, University of Nebraska. 1994. G74- 142-a.
- Graybill JS, Cox WJ and Otis DJ. Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. *Agron J.* 1991; 83: 559-564.
- Hernández RP y Ríos QC. Producción y calidad de maíz forrajero para ensilado en el norte de Coahuila. 2008. CIRNE, INIFAP. XLIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Yucatán, Méx. Pág. 259
- Hoffman PC. Impact of NDF digestibility on energy content of forages and dairy rations. University of Wisconsin-Madison. 2002.
- Hoffman PC, Shaver RD, Combs DK, Daniel J, Bauman LM and Seeger TK. Understanding NDF digestibility of forages. *Focus on Forage* 2001; (3) 10
- Howell TA, Tolk JA, Schneider AD and Evett SR. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrids in differing in maturity. *Agron. J* 1998; 90: 3-9.

- Jacobs, J. L. and A. B. McCallan. Enzymes as silage additives. 1. Silage quality, digestion, digestibility performance in growing cattle. *Grass and Forage Science* 1993;46:63-73
- Janh E y Bermedo J. Calidad de ensilaje de maíz. *Boletín Informativo*. 2003. www.inia.cl/quilamapu/publicaciones/articulos/bioleche/boletin2003/boletin88.html - 40k.
- Jiménez, MA. Conservación de forrajes. Univ. Aut. Chapingo, Chapingo, México. 1988.
- Johnson JC. Tropical corn silage. Proc. Southern regional. Symp. Univ. of Florida, Quincy. 1991.
- Jung HG and Allen MS. Characteristics of plant cell wall affecting intake and digestibility of forage by ruminants. *J. Anim. Sci.* 1998; 73:2774.
- Kung L. Microbial inoculation and cellulose enzyme treatment of barley-vetch silage harvested at three maturities. *J. Dairy Sci.* 1990; 73:1304
- Kung LJ and Ranjit NK. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives of the fermentation and aerobic stability of barley silage. *J. Dairy Sci.* 2001; 84:1149–1155.
- Kung LJ and Shaver R. Interpretation and use of silage fermentation analysis report. *Focus on forage*. 2001;3:13
- Kung, Jr L and Stokes, MR. Silage additives. In D. R. Buxton, R. E. Muck, & J. H. Harrison (Eds.), *Silage Science and Technology* 1999. (pp. 305–360). Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Lauer J, Kohn K, Flannery P and Hudelson K. Wisconsin corn hybrid performance trial results: grain and silage. A3653. Univ. Wisconsin Extension. Madison. 2000.
- Lauer J, Coors J and Shaver R. Corn silage types for best performance. University of Wisconsin 2002.
- Mahana B. Troubles hoting silage problems. In: Pioneer hi-bred int'l, Inc. Four State Applied Nutrition Conference, June 29-30. 1993. Lacrosse, Wisc.,

- Martínez GM, Gaytán BR, Reyes ML, Luna FM, Padilla. RJ y Mayek PN. Rendimiento de grano y forraje de maíces híbridos de riego en Aguascalientes y Zacatecas, México. *Agricultura Técnica en México*. 2004; 30: 53-61
- Mc Cullough ME. Feeding quality silage. *Animal Nutrition and Health* 1984; 39:30-35.
- Merry RJ, Lowes KF and Winters AL. Current and future approaches to biocontrol in silage. In: Jampor L, Klapil P, Chromec P, Prochazaka P, editors; Jampor L, Klapil P, Chromec P, Prochazaka P, editors. *Proceedings of the 8th International Conference on Forage Conservation*. Pohorelice, Czech Republic: Research Institute of Animal Nutrition; 1997. pp. 17–27.
- Miller WJ. *Nutrición y alimentación del ganado vacuno lechero*. Ed. Acribia, Zaragoza. España. 1989.
- Monsanto. Semillas. 2006. <http://www.monsanto.com.mx/asgrow.htm>
- Mooi KC. Varietal and density effects on vegetable corn and forage production. *Mardi Research Journal*. 1991; 19:217-223.
- Muchow RC and Sinclair TR. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. *Crop Sci*. 1994; 34:721-727.
- Muck R. and Limin JR. Effects of silage additives on ensiling. *Proc. Silage: Field to Feedbank*. North American Conference. 1997. *Nraes-99*: 187-199.
- Mueller J, Green JT and Kjølgaard WL. *Corn silage harvest techniques corn*. 1990. National Handbook NCH 49 reprinted August 1991.
- Muslera PE y Ratera GC. La alfalfa. En *Praderas y forrajes, producción y aprovechamiento*. Ediciones Mundi-Prensa, 625-696. Madrid (España). 1984.
- Núñez HG., Faz CR, Tovar GM, Zavala GA. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el Norte de México. *Téc. Pecu. Méx*. 2001; 39: 77-88.
- Núñez HG, Contreras GE y Faz CR. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Téc Pecu Méx* 2003, 41(1): 37-48

- Nuñez HG, Faz CR, González FC y Peña RA. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 2005; 43: 69-78.
- Oba M and Allen M. Evaluation and the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage. Effects on dry matter intake and milk yield in dairy cows. *J. Dairy sci.* 1997; 82:589.
- Owens VN, Albrecht KA, Muck R and Duke SH. Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates. *Crop Sci.* 1999; 39:1873-1880.
- Paliwal RI. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal. 2001; (28): 1-369.
- Peñagaricano JA. Ensilaje de maíz, una buena reserva para alimentar ganado. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 1992.
- Pitt RE. Silage and hay preservation. *Nraes-5 Northeast Reg. Agri. Eng. Service.* Ithaca, NY. 1990.
- Shaver R. Corn silage evaluation: milk2000 challenges & opportunities with milk 2006. UW-Madison dairy science department's website <http://www.wisc.edu/dysci/>
- Reta SD, Gaytán MA, Carrillo AJ. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Rev. Fitotec Méx.* 2000; 23: 37-48
- Reyes JE. Producción de maíz para ensilaje. Campo Experimental Sur de Sinaloa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2005.
- Robinson, P.H. Neutral detergent fiber (NDF) and its role in alfalfa analysis. In: Proc. 29th California Alfalfa Symposium, Fresno (California) December 8-9, 1999. pp 60-67.
- Robles R. Cultivo del maíz (*Zea mays*, l). En: producción de granos y forrajes. Robles RS. Editor. Cuarta edición. Editorial Limusa. Monterrey, México, 1983. p. 610.

- Robles EF, González CF, Peña RA. Transferencia de tecnología para la producción de maíz para ensilaje bajo riego en Aguascalientes. CEPAB, CIR Norte Centro INIFAP Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Yucatán. 2008.
- Rodríguez AA, Riquelme EO and Acevedo JA. Effect of temperature on the aerobic stability of forage sorghum silage. *J. Anim. Sci.* 1998; (81), 193.
- Roth GW and Lauer IG. Agronomist's perspective of corn hybrids for silage. *Proc. Silage: field to feedbunk. North American conference.* 1997. *Nraes-99:* 15-24.
- Roth GWy. Undersander D. Corn silage production, management and feeding. American Society of Agronomy, Inc., Crops Science Society of America, and Soil Science Society of America, Inc. 1995.
- Sánchez P. Suelos del trópico: características y manejo. Traducido del Inglés por Edilberto Camacho. Primera Edición. San José, Costa Rica: IICA. p. 660. 1981.
- Satter LD and Slyter LL. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein *in vitro* production. *J. Nutr.* 1974;32:199
- Sas Inst. *Sas/Stat User's Guide* (version 6.12). 1990. SAS Inst. Inc., Cary, N.C.
- Scharf PC, Wiebold WJ and Iory JA. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agron. J.* 2002; 94:435-4.
- Schroeder JW, Corn silage management. AS-1253. 1998. <http://www.ag.nds.edu/pubs/ansci/dairy/a1253w.htm>.
- Shaver RD. Feeding corn silage to milking cows. UW. *Silage and Germoplasm enhancement of maize field days.* Sept. Madison, WI. 1999.
- Servicio de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera (SIAP/SAGARPA). Avances de siembra primavera-verano y otoño- invierno 2007-2008. <Http://www.saip.sagarpa.gob.mx>.
- SIAP/SAGARPA Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México. 2007. <Http://www.saip.sagarpa.gob.mx>.
- Siciliano J. Strategies for coping with poor forage digestibility in dairy rations. P 87-96 *in Proc. 15th Annu. Symp. Biotechnology in the Feed Industry,* Loughborough, Leics, UK. 1999.

- Siciliano SD, Theoret CM, De Freitas JR, Hucl PJ and Germida JJ. Differences in the microbial communities associated with the roots of different cultivars of canola and wheat. *Can. J. Microbiol.* 2000;44: 844–851.
- Sinclair TR. and Muchow RC. Effect of nitrogen supply on maize yield. Modeling physiological responses. *Agron. J.* 1995;87:632-64.
- Singh J. Current status of maize improvement in sub-tropical areas of Indian sub-continent. In: *Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. International expert consultation, Florence and Bergamo, Italy, Brandolini, A. (ed.) Salamini, F. (ed.)- Florence (Italy): Instituto Agronomico per l'Oltremare. 1985. p. 311-328*
- Stefanie J., Elferink O, Driehuis F, Gottschal J y Spoelstra S. Los Procesos De Fermentación del Ensilaje y Su Manipulación. Pp. 31-40. In: L. Mannelje (Eds). *Uso Del Ensilaje En El Trópico Privilegiando Opciones Para Pequeños Campesinos. Serie Estudios FAO. Producción y Protección Vegetal 161. FAO, Roma. 2000. P 189 .*
- Terrazas PJ, Mendoza SR y Chávez VE. Evaluación a nivel comercial de híbridos de maíz para ensilar con tres criterios en la cuenca lechera de Delicias. C- E Delicias CIRNOC, INIFAP, ALCODESA. XLIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Yucatán. 2008.
- Thelen KD, Dysinger K, Widdicombe WD, Allen MS, Main DE and Andersen J. Corn hybrids compared in the 2000 season. *Bulletin e-431. Michigan State University. 2000.*
- Tilley JM and Terry RA. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *British Grassland Society* 1963; 18:104-111.
- Titterton M, y Bareeba F. Ensilaje de gramíneas y leguminosas en los Trópicos. pp. 53-56. In: L. Mannelje (eds). *Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Serie Estudios FAO. Producción y Protección Vegetal 161. FAO, Roma. 2001. P 189.*

- Tjardes KE, Buskirk D, Allen MS, Ames NK, Bourquin ID and Rust SR. Brown midrib-3 corn silage improves digestion but not performance of growing beef steers. *J. Anim. Sci.* 2000; 78:2957–2965.
- Tjardes KE, Buskirk D, Allen MS, Ames NK, Bourquin ID and Rust SR. Neutral detergent fiber concentration of corn silage and rumen inert bulk influences dry matter intake and ruminal digesta kinetics of growing steers. *J Anim Sci.* 2002; 80:833-840.
- Valencia E, Tirado R, Díaz H, and Adjei M. Dairy effluents rate effects on herbage mass nutritive value of stargrass (*Cynodon nlemfuensis vanderyst* var. *Nlemfuensis*) pastures. Abst. The ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings Indianapolis. (November 12-16). 2006.
- Van Amburgh MP, Van Soest J, Robertson JB and Knaus WF. Corn silage neutral detergent fiber: refining a mathematical approach for *in vitro* rates of digestion. Department of Animal Science Cornell University y BOKU - University of Natural Resources and Applied Life Sciences Department of Livestock Sciences Vienna, Austria. 1998.
- Van Soest. PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2ed. Comstock Publ. Assoc., Ithaca, N.Y. 1994. p. 112.
- Ward R. Opportunities and limitations in the use of NDF fiber digestibility values. Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop Inc. 2005.
- Weaton MN. Corn silage G4590. University Missouri. Extension Frd Martz. 1993. <http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?p=G4590>
- Weinberg ZG. and Muck RE. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *Fems Microbiol. Rev.*, 1996; 19: 53-68.