



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

## **EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y NUTRICIONAL DE CUATRO VARIEDADES DE MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN DE BOVINOS**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE: MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

MARCO ANTONIO RAMÍREZ JIMÉNEZ

T.P. LUIS CORONA GOCHI-FMVZ  
C.T. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ-CHAPINGO  
C.T. JESÚS JARILLO RODRÍGUEZ-CEIEGT

Ciudad Universitaria CD.MX Diciembre 2016



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.

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS**

A mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos.

A mis hermanos Ana Yazmin y Luis por ser el ejemplo a seguir.

A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis.

A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

Para todos ellos hago esta dedicatoria.

## **AGRADECIMIENTOS**

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por su apoyo decidido, generoso y desinteresado durante mis estudios de Maestría, desde luego en muchas otras ocasiones a través de sus múltiples instalaciones, así como darme oportunidad de ser parte de la UNAM.

Hago extensivo agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado una beca para realizar mis estudios de Maestría.

Al Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado (PAEP), por su apoyo en otorgarme los recursos necesarios para presentar mi investigación en el congreso internacional ADSAS-ASAS realizado en Florida, EUA.

A la Universidad Autónoma Chapingo por su apoyo generoso durante la parte experimental de mi tesis de Maestría.

Agradezco al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica (DNAB) por su apoyo incondicional en la elaboración de la investigación.

A mi Comité Tutor integrado por: Dr. Luis Corona Gochi, Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández, Dr. Jesús Jarillo Rodríguez.

A mis maestros de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de Posgrado.

Un agradecimiento especial Dr. Luis Corona por confiar en mí y ser el guía en mis estudios, porque sin su apoyo no se hubiera realizado esta Tesis.

A mis amigos y maestros Dr. Francisco Castrejon Pineda por su gran apoyo y consejos en estos años y ser parte de gran equipo de trabajo del Laboratorio de Bromatología, al Dr. Humberto Troncoso porque siempre me apoyo en mi preparación académica con sus consejos, a Patricia Olivos por enseñarme a hacer los AQPs, a pesar de su impaciencia, así como Nico, a la Química Águeda, a Tere por su gran apoyo, a Paulina Martínez, Martin, Mimi, Ladislao, Valeria Lorenzana, Jonathan Avilés, Sandra Guzmán, Lalo, Gaby, Toño, Monze, Paulina Luna, Val, a Zeltzin Alejandra por su apoyo y comprensión en el laboratorio, Perla, Chino, al Laboratorio de Toxicología al Químico Juan Carlos, Elizabeth Raya Martínez, María Fernanda Avalos Galván, Mariana Montalvo, Consuelo, Román Fuentes, Sofía.

## Contenido

Resumen .....	1
Abstract .....	1
Introducción .....	2
Capítulo 1 .....	3
1. Revisión de la literatura.....	4
1.1. Diversidad de las variedades de maíz .....	4
1.2. Producción de maíz en México .....	4
1.3. Características de la investigación de las variedades nativas e híbridos de México .....	5
1.4. Producción de maíz a diferentes topologías de siembra.....	6
1.5. Producción de ensilado de maíz en la alimentación de bovinos .....	7
1.6. Evaluación agronómica y nutricional de forrajes.....	8
1.7. Pruebas de digestibilidad.....	8
1.7.1. Digestibilidad <i>in vivo</i> .....	9
Justificación.....	10
Objetivos generales .....	11
Objetivos específicos .....	11
Hipótesis.....	12
Capítulo 2.....	13
Rendimiento y calidad del forraje de cuatro genotipos de maíz sembradas a diferente topología	14
Resumen.....	14
Abstract .....	14
1. Introducción .....	15
2. Materiales y métodos .....	15
3. Resultados y discusión .....	16
5. Conclusiones .....	20
6. Referencias.....	21
Capítulo 3.....	22
Rendimiento de nutrientes y digestibilidad de diferentes variedades nativas e híbridos de planta de maíz para bovinos.....	23
Resumen.....	23
Abstract .....	23
1. Introducción .....	24
2. Materiales y métodos .....	24
3. Resultados y discusión .....	26
4. Conclusiones .....	29
5. Referencias.....	30
Conclusión general.....	32
Referencias.....	33

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del suelo en San Andrés, Mixquic, Tláhuac, CDMX.....	16
Cuadro 2. Rendimiento total de forraje (Ton MS/ha) de cuatro variedades de maíz sembradas hilera.....	16
Cuadro 3. Rendimiento (Ton MS/ha) por componente de cuatro variedades de maíz sembradas en hilera sencilla o doble.....	17
Cuadro 4. Composición química de cuatro variedades de planta de maíz al momento de la cosecha .....	19
Cuadro 5. Ingredientes y composición química de las dietas para bovinos con cuatro variedades de planta de ensilado de maíz.....	25
Cuadro 6. Rendimiento de nutrientes (Ton/ha) de cuatro variedades de planta de maíz.....	27
Cuadro 7. Digestibilidad en bovinos de cuatro variedades de planta de maíz ensiladas.....	27

## Resumen

La siembra de maíz es de gran importancia cultural, social y productiva en México, es necesario evaluar métodos de siembra del cultivo para obtener mayores rendimientos de MS y nutrientes para la alimentación de bovinos con ensilados de planta completa de maíz (EPCM), ya que es el principal componente de forraje en la formulación de dietas. El objetivo de la investigación fue medir el rendimiento de forraje total y calidad de cuatro variedades de maíz, dos nativos (Rojo y Blanco) y dos híbridos (Niebla y Gladiador) a dos estrategias de siembra (hilera sencilla y doble), así como evaluar en dichas variedades el rendimiento y digestibilidad de nutrientes con bovinos a través de una prueba de digestibilidad *in vivo*. El diseño experimental para la fase agronómica fue completamente al azar en un arreglo factorial 4(variedad de maíz) × 2(estrategias de siembra) con 4 repeticiones y la unidad experimental fue una parcela de 4.8 × 3 m. La cosecha fue 135 d después de la siembra. La variedad × siembra no mostró influencia ( $P>0.05$ ) en ninguna de las variables medidas. Las variedades nativas rindieron 18% más ( $P=0.04$ ) forraje que los híbridos, 25.40 vs. 21.48 Ton/ha. El contenido de PC mostro influencia ( $P> 0.05$ ) de la variedad, los nativos mostraron un contenido de proteína cruda 4.6% superior ( $P=0.08$ ) a los híbridos. La topología solo influyó ( $P<0.05$ ) sobre el rendimiento de hoja que fue 18% superior con la hilera doble en comparación a la sencilla. Para la prueba de digestibilidad se utilizaron 4 bovinos machos de 489 kg PV. El diseño fue cuadrado latino 4×4. Los cuatro tratamientos correspondieron a las cuatro variedades de maíz. La dieta se conformó de 55.7 y 44.3% ensilado y concentrado, respectivamente. Los periodos fueron de 15 d, 11 para adaptación a la dieta y los últimos 4 d para la toma de muestras. Las variables se analizaron mediante PROC MIXED de SAS. La comparación de medias fue por los siguientes contrastes: entre maíces nativos, entre híbridos y nativos contra híbridos. Las variedades de nativas tuvieron mayor rendimiento para todos los nutrimentos ( $P<0.001$ ): 23% en PC; 17% en FDN; 29% en FDA, 16% en almidón y 14% en EB. Los maíces nativos mostraron una mayor digestibilidad ( $P<0.05$ ): 7.4% en MS; 6.2% en MO; 8.3% en FDN; 13% en FDA, 6% en almidón; 15.6% en N. Se concluye que la variedad es un factor importante para lograr mayor cantidad y calidad de forraje en maíz y la topología puede influir solamente en el rendimiento de hoja, considerando que las variedades nativas de planta de maíz mostraron mayor digestibilidad de los nutrientes respecto a los híbridos, es recomendable su siembra y utilización.

**Palabras clave: maíz, bovinos, digestibilidad**

## **Abstract**

Planting corn is of great cultural, social and productive importance in Mexico, it is necessary to assess crop planting methods to obtain higher yields of DM and nutrients for feeding cattle with silage corn plant complete as it is the main component of forage in the diet formulation. The aim of the research was to measure the total forage production and quality of four varieties of corn, two native (Red and White) and two hybrids (Fog and Gladiator) to two seeding strategies (single and double row) and evaluate in these cultivars yield and nutrient digestibility in cattle through a test in vivo digestibility. The experimental design for Agronomic phase was completely randomized in a factorial arrangement 4 (maize variety) × 2 (seeding strategies) with 4 replicates and the experimental unit was a plot of 4.8 × 3 m. The harvest was 135 d after planting. The variety × planting showed no influence ( $P > 0.05$ ) in any of the variables measured. Native varieties yielded 18% more ( $P = 0.04$ ) forage hybrids, 25.40 vs. 21.48 tons / ha. The crude protein (CP) content showed no effect ( $P > 0.05$ ) of the variety, the natives showed CP content 4.6% higher ( $P = 0.08$ ) than hybrids. The topology only influenced ( $P < 0.05$ ) on leaf yield 18% higher with the double row compared to the simple. For the digestibility test, 4 bulls (489 kg BW) were used. The experimental design was 4 × 4 Latin square. The four treatments were four maize cultivars. The diet consisted of 55.7 and 44.3% DM silage and concentrate, respectively. Periods were 15 d, 11 for adaptation to the diet and the last four d for sampling. The results variables were analyzed using SAS PROC MIXED. The comparison of means was for the following contrasts: between natives, between hybrid and native against hybrids. Native maize varieties had higher achievement for all nutrients ( $P < 0.001$ ): 23% CP; 17% in FDN; 29% by ADF, 16% starch, 14% in GE. The native maize showed higher digestibility ( $P < 0.05$ ): 7.4% DM; 6.2% OM; 8.3% NDF; 13% ADF, 6% starch; 15.6% N. This study concluded that, the variety is important to achieve greater quantity and quality of forage in cultivars and the topology can influence only in leaf yield factor, considering that native cultivars of corn plant showed higher digestibility nutrients to hybrids, it is advisable planting and use.

**Key words: maize, beef cattle, digestibility**

## INTRODUCCIÓN

Se espera que para el año 2050, la población mundial sea de 9,600 millones de personas (FAO, 2013) y en México de 150.8 millones (CONAPO, 2015). Con una diversidad de culturas en proceso de cambio, así como alteraciones climáticas que originan la migración de pueblos o comunidades originarias lo que ocasiona una extinción de la diversidad genética de maíz (Rice *et al.*, 2006), los cuales son centros de origen de cientos de semillas (Rice *et al.*, 2006), que pueden llegar a tener potenciales de producción significativos (Elizondo y Boschini, 2002).

La siembra de maíz es de gran importancia cultural, social y productiva en México, el cual fue domesticado hace más de 9000 años y presenta una amplia diversidad genética (Castro *et al.*, 2013), son sembradas en una gran variedad de regiones agroecológicas que van desde el nivel del mar hasta los 3000 metros de altitud (Goodman y Brown, 1988). La mayoría de las razas de maíz reconocidas en México, pueden ser clasificadas en grupos raciales bien definidos. Actualmente existe una diversidad considerable de variedades de planta de maíz que no ha sido estudiada de manera suficiente (CONABIO, 2012).

La colección de germoplasma se puede utilizar, como una fuente de diversidad genética para ser caracterizada para un manejo y utilización eficiente que permita el mejoramiento y la productividad en la agricultura del país y especialmente en regiones donde exista la posibilidad de una pérdida de variedades nativas, así como dar información suficiente para llevar a cabo su conservación (Castro *et al.*, 2013).

Los recursos genéticos nativos, deben ser colectados para su conservación, caracterización y aprovechamiento, para mantener una amplia base de genes para utilizarlos en el mejoramiento genético y prevenir pérdidas permanentes de la diversidad.

La presente investigación fue, desarrollada en la Delegación Tláhuac de la CDMX, tuvo como propósito la siembra y utilización de variedades locales de maíz, así como de híbridos comerciales para la elaboración de ensilados de maíz, en la alimentación de bovinos. Este estudio se llevó a cabo en dos etapas principales: en la primera se evaluaron las características agronómicas de dos variedades nativas (roja y blanca) y dos híbridos (niebla y gladiador) sembradas a hilera sencilla e hilera doble para determinar el potencial de producción de materia seca (MS) y sus componentes de cada una de las variedades. En la segunda etapa, se midieron las características nutricionales de cada variedad de maíz ensilada y se determinó la digestibilidad de cada componente (MS, materia orgánica, MO, fibra detergente neutro FDN, fibra detergente ácido FDA, almidón, nitrógeno, N, energía digestible, ED), mediante una prueba de digestibilidad con bovinos.

# Capítulo 1

# 1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

## 1.1. Diversidad de las variedades de maíz

México es el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), existen 59 razas de acuerdo con la clasificación más reciente basada en características morfológicas e isoenzimáticas (Sánchez *et al.*, 2000), de las 220 a 300 razas de maíz existentes en el continente americano (Fernández *et al.*, 2013). Esta diversidad es producto de milenarias prácticas agrícolas vinculadas al conocimiento tradicional de los pueblos indígenas de México.

Las variedades de maíz (*Zea mays* L.) nativas presentes en México se encuentran en las manos de los agricultores de las regiones donde se cultiva, donde se han seleccionado para numerosas características, a través de los años y para la continua conservación de su propia semilla, que a su vez constituyen más del 80 % del área sembrada del país (Fernández *et al.*, 2013).

Las plantas cultivadas y su diversidad genética, intrínseca y asociada, han formado parte fundamental de los recursos para el desarrollo de la agricultura, sobre esa base ha sido posible la producción de alimentos para la creciente población humana, además del abastecimiento de materias primas para la industria y la demanda en la producción pecuaria, así como el desarrollo económico y social (Jain, 2000).

La percepción de la diversidad del maíz por la población humana depende de factores como: a) los complejos de la biodiversidad a su alrededor, b) las necesidades sociales o personales para usos alimenticios, medicinales o religiosos, c) la percepción del entorno natural (Jain, 2000).

En la elección del material genético los productores prefieren características como tamaño de grano, tamaño de la planta, número de mazorcas, rendimiento de materia seca, tipo de semilla entre otras. La diversidad biológica se refiere a la riqueza de formas vivientes que existen en el planeta y están determinadas por: la diversidad de formas del mismo gen (es) dentro de una misma especie, el número de diferencias genéticas que caracterizan a diferentes poblaciones o razas clásicas (Dirzo, 1999).

## 1.2. Producción de maíz en México

El maíz es el cultivo más importante del país, desde el punto de vista alimenticio, político, económico y social. Basta con decir que el consumo per cápita de maíz en México es de más de 200 kg por habitante (FAOSTAT, 2009). Este cereal cubre poco más de la mitad de la superficie agrícola sembrada, con aproximadamente 7.6 millones de hectáreas (SIAP, 2015), principalmente en las zonas sub-húmeda tropical, templada húmeda y sub-húmeda (Fernández *et al.*, 2013). Junto con el maíz, el frijol, calabaza y tomate forman parte de la dieta de los mexicanos. El maíz es el producto con mayor consumo nacional por persona en el país, y es la fuente principal de proteínas y carbohidratos.

De acuerdo con la clasificación de Sánchez *et al.* (2000) se encuentran 59 razas de las cuales cada una tienen características específicas de uso y adaptación a las diferentes condiciones y sistemas de producción, existe una diversidad amplia de variedades de maíz para casi cualquier necesidad, se pueden encontrar características de variedades con alturas de 1.5 a 3.5 metros; diferentes grados de tolerancia al calor, frío o sequía; adaptación a diferentes tipos de suelo, altitud y latitud. Se cultiva

desde las costas de Golfo o del Pacífico hasta casi 3000 msnm; se siembra en regiones con precipitación pluvial menor a 400 mm hasta cerca de 3000 mm. Todas las partes de la planta tiene algún uso (Aragon, 2005).

En México el 80% de la superficie que se siembra de maíz depende de las lluvias lo que ocasiona una baja producción de grano y forraje, esto aunado a otros factores ambientales y socioeconómicos, por lo tanto, la utilización de variedades locales es muy conveniente debido a las características climáticas de cada región del país (Fernández *et al.*, 2013).

El volumen de producción de maíz grano durante los últimos 5 años se ha mantenido en aproximadamente 22 millones de toneladas, de las cuales el 89% es de maíz blanco, el resto corresponde a maíces amarillos y maíces pigmentados. Según estadísticas del SIAP (2015) reportan una superficie sembrada de 7,600,452.58 ha para grano con una producción de 24,694,046.25 Ton con un promedio anual de producción nacional de 3.48Ton/ha MS de maíz grano y de 18 Ton/ha de MS de maíz forrajero. Para la Ciudad de México se reporta una superficie sembrada de 3,753 ha para producción de grano con una producción de 4,836.99 Ton con un promedio anual de producción de 1.3 Ton/ha MS, para maíz forrajero se reporta una superficie sembrada de 211.7 ha con una producción de 4,190.5 Ton con un promedio nacional anual de producción de 25.34 Ton/ha MS (SIAP, 2015).

### **1.3. Características de la investigación de las variedades nativas e híbridos de México**

En México la investigación del desarrollo y mejoramiento de variedades de maíz tiene sus principales eventos en la década de 1940 a 1950, cuando se fundaron instituciones gubernamentales con programas específicos para el mejoramiento del maíz, mediante la divulgación, promoción y certificación de semilla, haciendo énfasis de la genotecnia del maíz de clima tropical Tuxpeño y Vandeño con la liberación de los primeros híbridos de la variedad Rocamex V-520 y los híbridos H-501, H-502 y H-503 para clima tropical (Reyes, 2000). Los programas de maíz han tenido alta prioridad ya que desde el año de 1985 cuando se conformó el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se inició con la investigación de maíces, así como de la generación de datos de las primeras variedades mejoradas, las cuales se encuentran en el banco de germoplasma del Banco Central de maíz, como una fuente de diversidad genética (Acosta *et al.*, 2014). Posteriormente en 1966, se formó el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT) con la finalidad de apoyar y complementar las investigaciones sobre estos cereales, por lo tanto, los programas de maíz han tenido alta prioridad (Reyes, 2000). La información del maíz de la mayoría de los países está contenida en el Catálogo del Germoplasma de Maíz del CIMMYT, esta información es la base para el conocimiento, investigación y conservación de este cereal, no sólo del continente americano sino también del resto del mundo.

El maíz es un cultivo que se adapta a una gran diversidad de ambientes, es una planta cuyo proceso fotosintético se realiza mediante la ruta del carbono C4 y se caracteriza por tener una alta capacidad de producción de materia seca. Esto se debe a ciertas ventajas que se han identificado en las razas nativas, que en su mayoría se siembran en los terrenos edafo-climáticamente más limitativos (Turrent *et al.*, 2012). De hecho, se han reportado razas que pueden sobrevivir donde las variedades mejoradas no tienen oportunidad (Vázquez *et al.*, 2010). Entre las ventajas de estos maíces destacan las siguientes: adaptación a las condiciones climáticas locales, estabilidad a la variabilidad climática, costos más bajos de los insumos necesarios para la producción de forraje o grano. Por todo lo anterior, la protección, caracterización y conservación del germoplasma nativo, así como de los saberes y conocimientos tradicionales asociados, son acciones impostergables, sobre todo ante las evidencias que existen de pérdida y extinción de algunas poblaciones (Fernández *et al.*, 2013).

Los maíces mejorados (híbridos) se originan a partir de variedades nativas, la producción de semilla de maíz híbrido proporciona a los agricultores variedades que poseen características genéticas mejoradas, como el alto potencial de rendimiento y combinaciones de caracteres únicas para resistir las enfermedades y condiciones de cultivo adversas. Sin embargo, la calidad de la semilla híbrida depende fundamentalmente de los métodos de producción en campo que se utilicen, los que deben cumplir con normas que garanticen la calidad y de la implementación de un manejo agronómico apropiado. Si bien la producción de semilla de variedades de maíz de polinización libre es relativamente sencilla, la producción de semilla híbrida requiere que se apliquen prácticas de campo adicionales que son esenciales para lograr una buena producción, dentro de los maíces híbridos son los que satisfacen en buena medida las necesidades de la agroindustria mexicana, y ocupan tan sólo 20 % de la superficie total sembrada de maíz (SIAP, 2014). Se producen principalmente bajo sistemas de riego en el noroeste de México, además de necesitar un uso constante de agroquímico (Fernández *et al.*, 2013).

Si se considera la variedad, se puede decir que cualquier tipo de maíz puede cultivarse para forraje, pero las que producen mayores rendimientos de biomasa son aquellas variedades de porte alto. Los híbridos por su parte, al ser de porte pequeño generalmente producen menos cantidad de forraje por unidad de superficie (Pecina *et al.*, 2011)

#### **1.4. Producción de maíz a diferentes topologías de siembra**

El objetivo de la operación de siembra en diferentes arreglos topológicos es lograr la máxima relación planta/semilla y mantener una distribución constante entre las plantas dentro de la hilera. Si bien este objetivo es válido para cualquier cultivo, en el caso del maíz, un cultivo que requiere una densidad óptima para alcanzar altos rendimientos (Valentinuz *et al.*, 2007).

Durante los últimos años, la industria de maquinaria agrícola ha desarrollado sembradoras que mejoraron tanto el ajuste de la densidad de plantas como la distribución de las plantas en la hilera. No obstante, la variación en cantidad y calidad del rastrojo, humedad y temperatura de suelo, y la presencia de enfermedades y plagas se traducen en cultivos que raramente llegan a la densidad y distribución de plantas planeadas (Valentinuz *et al.*, 2007).

El maíz representa la mejor oferta económica para los productores de grano. La siembra se realiza principalmente en surcos a 80 cm de separación, con una densidad alrededor de 80,000 a 100,000 plantas por hectárea. El rendimiento fluctúa de 5 a 20 % mayor rendimiento de componentes de la planta por hectárea, con una estrategia de siembra a diferentes distribuciones de planta por hilera por ejemplo a doble hilera, esto se refleja la necesidad de implementar acciones para obtener estrategias que incrementen la producción de maíz, sin dejar de lado la reducción de costos. La producción de los cultivos depende de la intercepción de la radiación solar y de su conversión en biomasa. La cantidad de radiación, que es interceptada por el cultivo, está determinada por el área foliar, por la orientación de la hoja y por su ciclo de crecimiento. El índice de área foliar (suma de área de todas las hojas por unidad de superficie) está determinado por la densidad de población y su arreglo espacial (Reta *et al.*, 2003).

La siembra de maíz en diferentes topologías permite incrementar el rendimiento de grano como consecuencia por la competencia entre plantas dentro del surco por luz, agua, y nutrientes (Reta *et al.*, 2003). La producción de los cultivos depende de la interacción de la radiación solar y de su conversión en biomasa. Generalmente las variedades de planta de maíz forrajero que se produce en México tienen valores energéticos bajos en comparación a los que se producen en Estados Unidos y

Europa, ya que en los mejoramientos genéticos se puso mayor atención en el rendimiento de forraje por unidad de superficie dejando a un lado la calidad nutritiva de la planta de maíz (Ruiz *et al.*, 2006). Para el caso de México es escasa la información comparativa de híbridos de maíz forrajero, así como de las variedades de maíz nativos que existen en las regiones del país, para tener alternativas de producción de alimentos para los rumiantes.

### **1.5. Producción de ensilado de maíz para la alimentación de bovinos**

En México el ensilado de maíz (*Zea mays* L.) es ampliamente utilizado en la alimentación de los bovinos, esto se atribuye principalmente a sus características nutritivas y como fuente de energía para la formulación de raciones para bovinos, su popularidad se debe a la rentabilidad del cultivo y contar con una fuente de alimento de la misma calidad todo el año (Johnson *et al.*, 2002).

La importancia del uso del ensilaje de maíz en la alimentación animal, radica en que interviene de manera principal en la producción de leche o carne del ganado bovino. Además, mediante este método se utilizan alimentos que de otra forma se perderían, y se conservan alimentos con gran parte de su calidad original, por un lapso de tiempo prolongado, de este modo pueden ser utilizados cuando se les necesite (Johnson *et al.*, 2002).

La proporción que ocupa el ensilado de maíz como componente de la dieta de bovinos es cada día mayor en las producciones, por lo tanto, es importante evaluar el contenido nutricional de los ensilados de la planta completa de maíz (EPCM), para comprender el efecto de la calidad del ensilado de maíz (Khan *et al.*, 2014). Los ganaderos tienen costos elevados en la alimentación de bovinos, por lo tanto, deben tener nuevas alternativas para bajar los costos de producción dependiendo la finalidad del producto, por este motivo es importante tener información suficiente sobre las variedades de planta de maíz para la elaboración de ensilados (Khan *et al.*, 2014).

En el país según Núñez *et al.*, (2003) el ensilado de maíz es una alternativa que tiene altos rendimientos, ya que se ha puesto mayor énfasis en el mejoramiento genético para producción. Según estadísticas del SIAP (2015) para maíz forrajero reportan una superficie sembrada de 563,820.89 ha con una producción de 13,660,717.70 Ton con un promedio anual de producción nacional de maíz forrajero de 25.34 Ton/ha MS. En la actualidad existen evidencias para elegir entre distintas variedades de planta de maíz, con respecto al contenido de proteína y fibra, así como a las que se refieren a digestibilidad de la materia seca (Ruiz *et al.*, 2006) y por lo general estas características no son tomadas en cuenta para elegir qué tipo de variedad se puede sembrar. Las variedades nativas han sido la base para la generación y desarrollo de poblaciones modernas ya sea por polinización libre, así como de la creación de híbridos en todo el mundo (Castro *et al.*, 2013).

Con respecto a la caracterización de las razas nativas, cabe mencionar que durante mucho tiempo la investigación se ha centrado en el rendimiento de materia seca del grano y otros rasgos agronómicos. Sólo recientemente se han realizado estudios científicos sobre los aspectos de calidad (Turrent *et al.*, 2012).

Las condiciones climáticas, así como las de la cosecha de variedades de híbridos, puede tener una variación en el nivel de energía contenida en los ensilados de maíz, así como el almidón que ocupa un lugar importante en la composición de la dieta (Ops *et al.*, 2013). Un problema es la falta de información del valor nutritivo o referencias sobre el ensilado de maíz con variedades de plantas nativas (Castro *et al.*, 2013).

## 1.6. Evaluación agronómica y nutricional de forrajes

Dentro de la prueba de evaluación agronómica de los forrajes y en el caso de la planta de maíz, las variables evaluadas generalmente son: germinación, vigor, altura, plantas caídas, producción de forraje verde y de materia seca, calidad de ensilado. **Germinación:** esta se evalúa entre el día seis y ocho después de la siembra. Se considera en términos de porcentaje de plantas emergidas del total de las plantadas, **Vigor:** es expresado por el estado de la planta, color, crecimiento y sanidad, **Altura:** se evalúa midiendo mensualmente de las plantas en cada una de las parcelas. La medición se realiza de la distancia desde el piso hasta la parte más alta de cada planta en estado natural. **Plantas caídas:** este parámetro se obtiene mediante la observación del cultivo para de esta manera determinar el porcentaje de acame. **Producción de forraje verde:** se evalúa a los 120 días, o dependiendo de la precocidad del material genético o cuando la mazorca está en estado de lechoso, debido a que en esta etapa hay un mayor contenido de proteína. **Producción en materia seca:** las muestras se llevan a una temperatura de 70°C durante 72 horas para así poder obtener la diferencia entre peso fresco y peso seco. **Calidad del ensilado:** se cuantifica en el laboratorio para determinar proteína cruda, digestibilidad *in vitro* de la materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido (Toledo, 1982).

La evaluación de variedades de maíz para ensilado, se realiza en la planta cultivada para forraje y ensilado después del corte. Las pruebas de esta evaluación son: la determinación de la producción de forraje por hectárea en base a materia verde y a materia seca; contenido de proteína y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la materia orgánica (DIVMO, Fuentes *et al.*, 2001). El maíz es un cultivo ideal para ensilar por su alto contenido de carbohidratos disponibles, su alto rendimiento de materia verde (Ruiz *et al.*, 2006).

El empleo de alimentos conservados a través del ensilaje resulta muy atractivo por la flexibilidad que permiten para cubrir las necesidades de los animales, ya que posibilita la cosecha de los forrajes en etapas óptimas del crecimiento para disponer de un alimento de calidad. Este almacenamiento asegura una calidad casi uniforme de los alimentos. De esta forma los ensilados conservan la tasa de humedad y su valor nutritivo. Además, permite el aprovechamiento total de la planta (Fuentes *et al.*, 2001).

## 1.7. Pruebas de digestibilidad

La digestibilidad es uno de los factores más importantes para evaluar la calidad nutritiva de las raciones que consumen los animales domésticos, porque indica el grado en que los nutrientes de los ingredientes van a ser aprovechados por el animal (Church *et al.*, 1990). Una buena digestibilidad de la dieta resultará en una mayor productividad por parte del animal principalmente por la concentración de energía de la dieta, el aporte de proteína, minerales y vitaminas, aun cuando se ve afectado por la cantidad de alimento consumido y digerido, así como la eficiencia de los productos de la digestión (ZoBell *et al.*, 2001). Existen diferentes maneras de determinar la digestibilidad de los nutrientes, tales como las pruebas de digestibilidad *in vivo* (método de colección total o parcial de heces), digestibilidad *in situ* y digestibilidad *in vitro*. En el caso de bovinos productores de leche o de carne se hace más difícil llevar a cabo una prueba *in vivo*. Una alternativa es la colección parcial de las heces, que debe incluir algún marcador interno, externo o ambos (Church *et al.*, 1990). Existen marcadores externos e internos los cuales son sustancias que no son absorbidas por el animal, no tienen efecto en la digestión y son fáciles de medir; los marcadores externos se adicionan a la dieta (óxido de cromo, yterbium, óxido de titanio etc.) y se recolectan en las heces.

Los marcadores internos se encuentran en el alimento, las cenizas insolubles en ácido son consideradas como un marcador interno (Thonney *et al.*, 1985).

Las pruebas de digestibilidad se utilizan para determinar la proporción de nutrientes que se encuentran en un alimento y pueden absorberse por el tracto digestivo, el análisis químico de los nutrientes es el punto de partida para determinar el valor nutritivo de las dietas, y el valor efectivo de las sustancias ingeridas depende del aprovechamiento que puedan obtener del cuerpo animal (Khan *et al.*, 2015)

### **1.7.1. Digestibilidad *in vivo***

Para medir la digestibilidad total, es decir, a lo largo del tracto digestivo, sin diferenciar la digestibilidad ruminal de la intestinal, se realiza el siguiente procedimiento: los animales se alimentan con una dieta de composición conocida, con un periodo de adaptación de la dieta, posteriormente por cuatro a seis días se recolectan las heces y, después se analizan las muestras para el conocer su composición nutrimental cuya digestibilidad quiera averiguarse (Schneider *et al.*, 1995). La medición de la digestibilidad de los nutrimentos a nivel ruminal o intestinal, requiere de animales canulados en el rumen, abomaso, duodeno y/o íleon, de esta forma la digestibilidad es generalmente más exacta, ya que mide la situación real. Sin embargo, tiene las desventajas de ser costosa, de necesitar de mucho tiempo y de ser poco útil en evaluaciones de rutina, además de estar sujeta a variaciones inherentes al animal (Thonney *et al.*, 1985).

La utilización de marcadores internos se usa cuando es difícil recuperarla totalidad de las heces. Existen marcadores internos como la lignina y cromógenos vegetales, que se encuentran presentes en los alimentos, el óxido de hierro o el óxido de cromo son marcadores externos que son sustancias químicas que se les suministran a los animales en cápsulas o en cantidades conocidas con el alimento (Church *et al.*, 1990).

## **JUSTIFICACIÓN**

Por lo anterior es importante evaluar métodos de cultivo (topologías) para obtener mejores rendimientos, así como características nutrimentales de variedades de maíz para producción de forraje. La principal limitante nutricional en la engorda de bovinos, es la energía de la dieta, por lo cual es importante evaluar forrajes que aporten más energía para no depender únicamente de los cereales. Las variedades de maíces nativos en México deben estudiarse ya que se siembra de manera tradicional en muchos lugares, están bien adaptados y pueden tener gran potencial productivo y nutricional, por lo cual deben ser evaluados no solo agronómicamente sino nutricionalmente.

## **OBJETIVOS GENERALES**

Determinar en dos híbridos comerciales y dos variedades nativas de maíz, las características agronómicas y nutricionales, estas últimas mediante una prueba de digestibilidad *in vivo* en bovinos, para generar información pertinente a la toma de decisiones sobre la conveniencia de uso de alguno de estos materiales en la elaboración dietas para bovinos.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar el rendimiento total y por componente de forraje en cuatro genotipos de maíz sembrados a dos topologías diferentes.

Determinar el rendimiento de nutrientes de cuatro genotipos diferentes de maíz.

Determinar en bovinos la digestibilidad *in vivo* de nutrientes y valor energético de las dietas con ensilados de planta completa de cuatro genotipos diferentes de maíz.

## **HIPÓTESIS**

El genotipo de planta de maíz y la topología de siembra determinan de forma independiente el rendimiento total y por componente de forraje.

El rendimiento de nutrientes por ha será mayor con los híbridos comerciales.

La digestibilidad *in vivo* y el valor energético de las dietas con ensilado de planta de maíz están determinados por el genotipo del mismo.

## Capítulo 2

## Rendimiento y calidad del forraje de cuatro genotipos de maíz sembrados a diferente topología

### Resumen

La inclusión de forraje de maíz en la dieta de los bovinos es importante para asegurar el suministro de nutrimentos constante y a través del año. El objetivo del estudio fue medir el rendimiento de forraje total y calidad de 4 variedades maíz (2 nativos y 2 híbridos) a 2 estrategias de siembra (hilera sencilla y doble), con 80 000 plantas/ha. El diseño experimental fue completamente al azar en un arreglo factorial 4(variedad de maíz) × 2(estrategias de siembra) con 4 repeticiones y la unidad experimental fue una parcela de 4.8 × 3 m. La cosecha fue 135 días después de la siembra. La variedad × siembra no mostró influencia ( $P>0.05$ ) en ninguna de las variables medidas. Las variedades nativas rindieron 18% más ( $P=0.04$ ) forraje que los híbridos, 25.40 vs. 21.48 Ton/ha, el mayor rendimiento se asoció principalmente a mayores rendimientos de tallo y hoja, pero menor rendimiento de elote en los nativos en comparación a los híbridos. Gladiador fue la variedad con los menores rendimientos de tallo y hoja, 39 y 25% menos, pero la variedad con el mayor rendimiento de elote, 48% por arriba del promedio de las variedades nativas, respectivamente. El contenido de PC mostro influencia ( $P>0.05$ ) de la variedad, los nativos mostraron un contenido de proteína cruda 4.6% superior ( $P=0.08$ ) a los nativos. La topología solo influyó ( $P<0.05$ ) sobre el rendimiento de hoja que 18% superior con la hilera doble en comparación a la sencilla. Se concluyó que la variedad es un factor importante para lograr mayor cantidad y calidad de forraje en maíz y la topología puede influir solamente en el rendimiento de hoja.

Palabras clave: *Zea mays* L., arreglos topológicos, maíces híbridos y nativos.

### Abstract

Forage maize is an important ingredient to achieve a good nutrition of cattle year round. The objective of the study was to determine forage yield and quality of four corn cultivars (two native and two hybrids) sown at two topologies (single and double rows) at 80 000 plants/ha. Experimental design was a completely random with four replications and a 4.8×3 m plots as experimental units, treatments were in a 4×2 factorial arrangement. Harvest was at 2/3 of milk line, on average at 135 d after seeding. Cultivar×topology showed no effect ( $P>0.05$ ) on any of the variables measured. Native cultivars gave 18% more ( $P=0.04$ ) forage yield than the hybrids, 21.4 vs 25.4 Ton/ha, this higher forage yield mainly came from higher stem and leaf yields and lower ear yield in the natives compare to the hybrids. Gladiator was the cultivar with the lowest stem and leaf yields, 39 and 25% less, but highest ear yield, 48% above than the average of the native cultivars, respectively. Protein content was higher ( $P<0.05$ ) in the hybrids than in the natives. Topology showed effect ( $P<0.05$ ) on leaf yield only, double rows gave 18% more leaf yield than the single row. This study concluded that cultivar is an important factor to achieve higher forage quantity and quality from maize and topology might influence on leaf yield only.

Keywords: *Zea mays* L., topological arrangements, hybrids and natives.

## 1. Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) es una planta forrajera de alto rendimiento y calidad utilizada en la alimentación de los rumiantes como forraje verde o como ensilado, esto se atribuye principalmente a sus características nutritivas y como fuente de energía para la formulación de raciones para bovinos (Johnson *et al.*, 2002a). México se considera como centro de origen de maíz, cuenta con una gran diversidad de variedades así como de híbridos comúnmente encaminados a la producción de grano (Reyes, 2000), que podría influir en sus características de producción y calidad de forrajera que se produce en México ya que tiene valores energéticos bajos en comparación a los que se producen en Estados Unidos y Europa, debido a los mejoramientos genéticos con mayor énfasis en el rendimiento de forraje por unidad de superficie dejando a un lado la calidad nutritiva de la planta de maíz (Ruiz *et al.*, 2006). Actualmente existe una considerable diversidad de variedades de planta de maíz que no ha sido estudiada (CONABIO, 2012). La siembra de maíz en diferentes topologías permite incrementar el rendimiento de grano como consecuencia de la disminución por la competencia entre plantas dentro del surco por luz, agua, y nutrientes (Reta *et al.*, 2003). La producción de los cultivos depende de la interacción de la radiación solar y de su conversión en biomasa. La cantidad de radiación que es recibida por el cultivo está determinada por el área foliar, por la orientación de la hoja y por su ciclo de crecimiento, el índice de área foliar ( $m^2$  de hojas activas/ $m^2$  de suelo) es importante para determinar la intercepción de la radiación solar, que a su vez es determinada por la densidad de población y su arreglo espacial (Gozubenli *et al.*, 2004). Por lo tanto, el presente estudio fue determinar los rendimientos de forraje y su calidad de cuatro variedades de maíz sembradas a dos topologías de siembra.

## 2. Materiales y métodos

El experimento se realizó en un predio comercial del poblado de San Andrés Mixquic, Delegación Tláhuac, CDMX,  $19^{\circ}14'26.99$  N;  $98^{\circ}57'54.95$  W y 2220 msnm, para comparar 8 tratamientos en arreglo factorial  $4 \times 2$ , cuatro variedades de maíz y dos topologías de siembra, las variedades fueron: maíz nativo rojo (NR), maíz nativo blanco (NB), híbrido Niebla (HN), e híbrido Gladiador (HG). Las topologías fueron siembra en hilera sencilla o doble. El diseño fue completamente al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental fue una parcela de  $14.4m^2$  ( $4.8 \times 3$  m).

La preparación del terreno comenzó en abril, con rastreo y barbecho, previo a la siembra se tomó una muestra compuesta de suelo para análisis de fertilidad, según la NOM-021-SEMARNAT-2000, los resultados se muestran en el Cuadro 1. La siembra fue manual a una densidad de 80, 000 plantas por ha, el día 10 de mayo de 2014, en la topología de hilera sencilla, la separación entre hileras fue de 80 cm en hilera doble fue un conjunto de dos hileras contiguas a 40 cm de separación separado al conjunto contiguo por 80 cm, en ambas topologías los “golpes” fueron a 15 cm con una semilla por golpe. Al terminar la siembra se aplicó riego rodado por surco, el control de especies espontáneas se hizo manualmente con azadón en los meses de mayo y junio, la fertilización fue foliar con una solución 20-30-10 a los 30 días de la siembra. La cosecha del maíz fue a 2/3 de línea de leche (Andrae *et al.*, 1999), por lo que el intervalo en días de la siembra a la cosecha no fue el mismo a través de los cuatro genotipos, en promedio la cosecha se realizó a 135 días posteriores a la siembra.

Las variables medidas fueron rendimiento total y por componente de forraje, base materia seca, contenidos de proteína cruda y fibras detergentes neutro y ácido al momento de la cosecha. Para determinar rendimiento de forraje en cada parcela se tomaron las dos hileras centrales y se cortaron a ras de suelo todas las plantas de maíz enraizadas a lo largo del metro al centro de cada hilera, se

pesaron en campo y, se tomaron 10 plantas de maíz que fueron separadas en tallo (incluyendo la vaina de la hoja), hoja (lámina foliar), elote y brácteas, estos componentes fueron pesados antes y después de secado a 59°C durante 72 h en estufa de aire forzado, con la sumatoria de los pesos antes y después se calculó el contenido de materia seca mismo que fue aplicado al peso en fresco de campo para determinar rendimiento total de forraje en base seca; con el peso de cada componente luego del secado se calculó el aporte proporcional de cada uno al peso total y este aporte se aplicó al rendimiento total de forraje base seca para calcular el rendimiento por componente en base seca. Una vez secados y pesados los componentes provenientes de una misma parcela fueron mezclados y molidos en molino tipo Willey a criba de 1 mm para determinar el contenido de proteína cruda (AOAC, 2007) fibras detergentes neutro y ácido determinadas con el equipo Ankom 2000.

El análisis estadístico fue por análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar y arreglo factorial, la comparación de medias fue por Tukey y comparaciones planeadas por contrastes ortogonales (Pagano, 2006). Los cálculos se realizaron por medio de PROC GLM de SAS (SAS, 2005)

Modelo

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + V_j + (T \times V)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde  $T_i$  es la topología,  $i = 1$  a  $2$ ;  $V_j$  es la variedad de maíz,  $j = 1, \dots, 4$ ;  $(T \times V)_{ij}$  es interacción de la  $i$ ésima topología con la  $j$ ésima variedad de maíz y  $E_{ijk}$  es el error residual.

### 3. Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se muestran algunas de las características del suelo, la textura franco-arenoso del suelo fue adecuada para el aprovechamiento agrícola, el contenido tan alto de materia orgánica y nivel medio de capacidad de intercambio catiónico le confiere una cualidad de suelo con fertilidad media.

**Cuadro 1. Características fisicoquímicas del suelo en San Andrés, Mixquic, Tláhuac, CDMX**

Parámetro	Valor	Interpretación <sup>1</sup>
pH	7.94	Medianamente alcalino
Conductividad Eléctrica (mS)	4.5	Sin problema de salinidad
Densidad aparente g/cc	0.75	Volcánico
Arcilla (%)	17.25	
Limo (%)	18.32	Textura Franco arenoso
Arena (%)	64.41	
Materia orgánica (%)	23.6	Muy alto
% de Intercambio catiónico	13.7	
Nitrógeno (%)	0.38	Medio
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	14.4	Bajo
Fósforo (P) mg/kg	8.4	Medio
CIC <sup>2</sup> Cmol (+)kg	6.2	Medio

<sup>1</sup>Interpretación basada en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. <sup>2</sup>CIC. Capacidad de intercambio catiónico.

Solamente mediante contraste se pudo detectar una diferencia ( $P<0.05$ ) en rendimiento total de forraje entre el rendimiento de los nativos con el de los híbridos, donde los primeros rindieron 18% más forraje que los híbridos. Este resultado fortalece la tendencia ( $P=0.1$ ) de diferencia en esta variable entre las variedades evaluadas. Gladiador podría ser señalada como la variedad con la tendencia ( $P=0.16$ ) a mostrar el menor rendimiento total de forraje (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Rendimiento total de forraje (Ton MS/ha) de cuatro variedades de maíz sembradas en hilera sencilla o doble**

Variedad	Topología		Promedio
	Hilera Sencilla	Hilera Doble	
Gladiador	18.25 ± 538	20.80 ± 303	19.52
Nativo blanco	23.25 ± 348	26.17 ± 1016	24.71
Nativo rojo	23.94 ± 168	28.58 ± 790	26.26
Niebla	23.37 ± 341	23.50 ± 157	23.44
Promedio	22.20	24.76	
Fuente de variación			
	Variedad	Topología	Variedad × Topología
Pr > F	0.1	0.19	0.8
Contraste			
	NR vs NB	HN vs HG	N vs H
Pr > F	0.57	0.16	0.04

NR, Nativo Rojo; NB, Nativo Blanco; HN, Híbrido Niebla; HG, Híbrido Gladiador; N, Nativos; H, Híbrido.

Por efecto de topología el rendimiento total de forraje de las cuatro variedades evaluadas tendió ( $P=0.19$ ) a ser 11% mayor al sembrar en hilera doble respecto a la sencilla; la interacción entre los factores no mostró importancia ( $P=0.8$ ).

Los rendimientos por cada componente se muestran en el Cuadro 3, en ninguno de los cuatro componentes se registró efecto ( $P>0.05$ ) de la interacción variedad × topología. Únicamente en el rendimiento de brácteas no existió efecto ( $P>0.05$ ) de la variedad; mientras que la topología solamente mostró efecto ( $P<0.05$ ) sobre el rendimiento de hoja

**Cuadro 3. Rendimiento (Ton MS/ha) por componente de cuatro variedades de maíz sembradas en hilera sencilla o doble**

Variedad	Topología		Promedio
	Hilera Sencilla	Hilera Doble	
Tallos			
Gladiador	6.49	9.33	7.88c
Nativo blanco	13.81	14.00	13.91ab
Nativo rojo	13.81	16.92	15.36 <sup>a</sup>
Niebla	10.06	10.00	10.03bc
Promedio	11.03	12.56	
Hoja			
Gladiador	2.44	2.92	2.68b

Nativo blanco	3.06	3.58	3.32ab
Nativo rojo	3.50	4.17	3.83 <sup>a</sup>
Niebla	3.31	3.92	3.61 <sup>a</sup>
Promedio	3.08	3.65	
Grano			
Gladiador	7.69	6.22	6.95 <sup>a</sup>
Nativo blanco	3.81	6.08	4.95b
Nativo rojo	4.12	4.67	4.39b
Niebla	7.19	6.67	6.93 <sup>a</sup>
Promedio	5.70	5.91	
Brácteas			
Gladiador	1.69	2.33	2.01ab
Nativo blanco	2.56	2.50	2.53 <sup>a</sup>
Nativo rojo	2.50	2.83	2.67 <sup>a</sup>
Niebla	2.81	2.92	2.86 <sup>a</sup>
Promedio	2.39	2.65	
Fuente de variación, valor de <i>P</i>			
Variable	Variedad	hilera	Var × hil
Total		0.1	0.19
Tallo		0.0005	0.2
Hoja		0.0063	0.016
Elote		0.04	0.78
Brácteas		0.12	0.31

La variedad Gladiador mostró los menores rendimientos de tallo y hoja, 39 y 25% por debajo del promedio de las otras tres variedades, respectivamente; en contraste, las variedades Gladiador y Niebla, mostraron el mayor rendimiento de elote, 48% por arriba del promedio de las dos variedades nativas que no mostraron diferencia entre ellas. La variedad Nativo Rojo que mostró los mayores rendimientos de forraje, tallo y hoja, fue la variedad con el menor rendimiento de elote. Las tendencias de los rendimientos en estas dos variedades permiten señalar una relación inversa entre los rendimientos de los componentes vegetativos (tallo y hoja) y el reproductivo (elote), además, que la selección por rendimiento de grano en el proceso de formación de los híbridos puede llevar a una reducción en los rendimientos de tallo y hoja, lo que a su vez se puede reflejar en un menor rendimiento de forraje.

La siembra en hilera doble permitió que el rendimiento de hoja se aumentara en 18% con respecto de la siembra en hilera sencilla. Posiblemente el arreglo en hilera doble permitió una mayor expansión foliar, sin embargo, esto no se derivó en un mayor rendimiento de elote.

En cuanto a calidad, el contenido de PC mostró diferencia ( $P < 0.05$ ) para una variedad nativa y una variedad híbrida con contenidos similares (9.71 y 8.88 respectivamente) así como mostraron una tendencia ( $P = 0.08$ ) de mayor contenido de PC del promedio de ambos nativos con un 4.6% por encima del promedio de variedades híbridos. Para FDN y FDA no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) de los porcentajes correspondientes en hilera simple y así como en hilera doble no existió influencia ( $P > 0.05$ ) para FDN y FDA (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Composición química de cuatro variedades de planta de maíz al momento de la cosecha.**

Componentes químicos (%)	Nativos		Híbridos		EEM <sup>1</sup>	Topología		EEM <sup>1</sup>
	NR	NB	HN	HG		Hilera sencilla	Hilera doble	
PC	9.71 <sup>a</sup>	9.38 <sup>ab</sup>	8.88 <sup>b</sup>	9.37 <sup>ab</sup>	0.084	9.44	9.24	0.06
FDN	66.52 <sup>a</sup>	66.83 <sup>a</sup>	66.24 <sup>a</sup>	66.72 <sup>a</sup>	5.823	67.1	66.1	4.11
FDA	38.95 <sup>a</sup>	38.41 <sup>a</sup>	37.51 <sup>a</sup>	34.84 <sup>a</sup>	3.9149	37.3	37.6	2.7

<sup>1</sup>EEM = Error estándar de la media, NR, Nativo Rojo; NB, Nativo Blanco; HN, Híbrido Niebla; HG, Híbrido Gladiador; N, Nativos; H, Híbrido.

Los registros de rendimiento total de forraje variaron de 18.2 a 28.5 Ton/ha, el límite menor ligeramente inferior a los 19.2 y 20.4 Ton/h registrados por Ferreira *et al.* (2014) y Núñez *et al.* (2003), respectivamente; sin embargo, el límite mayor superó a los 22.3 y 22.1 Ton/ha registrados por estos mismos autores, respectivamente. Estos autores solamente compararon híbridos y no encontraron diferencia en rendimiento de forraje, mientras que en el presente estudio se obtuvo diferencia en rendimiento de forraje entre nativos e híbridos. La similitud en rendimiento de forraje entre los híbridos puede ser reflejo de su formación con base en mejorar el rendimiento de grano sin considerar como criterio los rendimientos de los componentes tallo y hoja, mientras que en las variedades nativas el criterio de rendimiento de grano no ha sido el único atributo para mantenerlas usando y de ahí la posibilidad de rendimientos altos en los componentes tallo y hoja, pero bajos en grano.

Elizondo y Boschini (2002) coinciden con el patrón observado en el estudio presente, en cuanto a que las variedades nativas comparadas con las híbridas, muestran igual o mayores rendimientos de tallo y hoja, pero constantemente con rendimientos menores de grano o mazorca, por tanto, las nativas pueden mostrar mayor rendimiento de forraje que las híbridas ya que el rendimiento mayor de grano o mazorca de éstas no compensa por los menores rendimientos en hoja y tallo. El menor rendimiento en grano podría ocasionar que las variedades nativas originen un ensilado de menor contenido energético que las variedades híbridas formadas para aumentar el rendimiento de grano.

Los valores de PC de variedades nativas corresponden a los reportados por Núñez *et al.* (2003) con 9.5 y 9.4% PC, respecto a los híbridos son similares a los de Ferreira *et al.*, (2014) que obtuvieron 7.7 y 8.8% PC, los resultados de la estrategia de siembra no mostraron diferencia ( $P>0.05$ ), sin embargo, quedan dentro de los valores reportados por diversos autores. Los contenidos de FDN y FDA están por debajo a los reportados por Ferreira *et al.* (2014), Núñez *et al.* (2003), Cusicanqui y Lauer, (1999). El impacto de la topología y la explicación de este impacto no cuentan con mucha información científica accesible, por lo que la comparación de los resultados obtenidos en este estudio con otros fue difícil de realizar, esto también aplica para obtención de propuestas explicativas de la topología en su influencia sobre atributos agronómicos del cultivo de maíz.

## **5. Conclusiones**

El rendimiento y calidad del forraje de maíz dependen de la variedad de maíz utilizada, las variedades no estrictamente seleccionadas para grano como son las nativas registran un mayor rendimiento de forraje que las híbridas. La topología es un factor de manejo del cultivo que puede influir sobre el rendimiento de hoja del maíz independientemente de la variedad de la planta.

## 6. Referencias

Andrae, J. G., Hunt, C.W., Pritchard, G.T., Kennington, L.R., Harrison, J.H., Kezar, W., Mahanna, W. 1999. Effect of hybrid, maturity, and processing on ruminal degradability of corn plants. *J. Anim. Sci.* 77(1):211.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Proyecto global de maíces nativos: Bases de datos maíces nativos. Disponible en: Biodiversidad Mexicana. <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas2012.html>

Cusicanqui, J. A., Lauer, J. G. 1990. Plant density and hybrid Influence on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal.* 91:911-915.

Elizondo, J. y Boschini, C. 2002. Producción de forraje con maíz criolla y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana.* 13(1): 13-17.

Ferreira, G., Alfonso, M., Delpino, S., Alessandri, E. 2014. Effect of planting density on nutritional quality of green-chopped corn for silage. *J. Dairy Sci.* 97:5918-5921.

Gozubenli, H., Kilink, M., Sener, O., Konuscan, O. 2004. Effects of single and twin row planting on yield and yield components in maize. *Asian J. Plant Sci.* 3(2):203-206.

Johnson, L. M., Harrison, J. H., Davidson D., Swift, M., Mahanna W. C., Shinnors, K. 2002a. Corn silage management I: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. *J. Dairy Sci.* 85:833–853.

Núñez, H., G., Eduardo, F., Contreras, G., Faz C., R. 2003. Importan agronomic and chemical characteristics in high energy hybrid forage corn. *Tec. Pec. Méx.* 41(1): 37-48.

Reta, S. D. G., Gaytan, M. A., Carrillo, A. J. S., 2003. Yield and yield components of maize in response to planting patterns. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2): 75-80.

Reyes, C. P., 2000. Cincuenta años de investigación agrícola de maíz para tierra caliente en México. *Agricultura Técnica en México.*, Vol 26 (1): pp. 49-62.

Ruiz, R. O., Salvador, H. F., Rubio, A. H., Castillo, G. Y. 2006. Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. *Rev. Cubana de Ciencias Agrícolas.* Vol. 40, núm. 1. pp. 91-96.

## **Capítulo 3**

## **Rendimiento de nutrientes y digestibilidad de diferentes variedades nativas e híbridos de planta de maíz para bovinos**

### **Resumen**

El ensilado de planta completa de maíz (EPCM) es el principal componente de forraje en las dietas de bovino, debido a su rendimiento y calidad nutricional. El objetivo de la investigación fue evaluar dos híbridos de plantas de maíz y dos de plantas nativas de maíz, sobre el rendimiento y digestibilidad de nutrimentos con bovinos a través de una prueba de digestibilidad *in vivo*. Se utilizaron 4 bovinos machos de 489 kg PV. El diseño fue cuadrado latino 4×4. Los cuatro tratamientos correspondieron a los cuatro cultivares de maíz: los nativos Rojo y Blanco y los híbridos Gladiador y Niebla. La dieta se conformó de 55.7 y 44.3% ensilado y concentrado, respectivamente. Los periodos fueron de 15 d, 11 para adaptación a la dieta y los últimos 4 d para la toma de muestras. Las variables se analizaron mediante PROC MIXED de SAS. La comparación de medias fue por los siguientes contrastes: entre nativos, entre híbridos y nativos contra híbridos. Las variedades de maíces nativos tuvieron mayor rendimiento/ha para todos los nutrientes ( $P<0.001$ ): 23% en PC; 17% en FDN; 29% en FDA, 16% en almidón; 14% en EB. Los nativos mostraron una mayor digestibilidad ( $P<0.05$ ): 7.4% en MS; 6.2% en MO; 8.3% en FDN; 13% en FDA, 6% en almidón; 15.6% en N. La concentración de ED (Mcal/kg MS) fue 7% mayor en las dietas que incluyeron el ensilado de las variedades nativas en comparación al ensilado de híbridos de maíz. Considerando que las variedades nativas de planta de maíz mostraron mayor digestibilidad de los nutrientes respecto a los híbridos, es recomendable su siembra y utilización. Considerando el mayor rendimiento de nutrientes y energía/ha de la variedad nativo rojo, es la mejor opción de siembra para obtener forraje para ensilar.

Palabras clave: Ensilado, bovinos, digestibilidad, maíz.

### **Abstract**

Corn silage is a major ingredient in cattle diets due to its high forage quantity and quality. The objective of the study was to evaluate two corn hybrids and two native based on extent of nutrient digestibility using individual pens. Four bulls with average BW of 489 kg were used. Experimental design was a Latin square 4×4. There were four treatments corresponding to each of the four corn cultivars under evaluation: natives red and white, and hybrids Gladiator and Fog. The diet was 55.7 and 44.3% of corn silage and concentrate, respectively (DM). Feeding periods lasted 15 d, 11 to adapt to the new feed and the last four days to collect samples. Analyses of variance were done under a mixed model, treatment as a fixed and the animal as random effect. Mean comparison was by contrasts: between natives, between hybrids and natives versus hybrids. Native maize varieties had higher yield/ha for all nutrients ( $P<0.001$ ): 23% in CP; 17% in NDF; 29% in ADF, 16% in starch, 14% in GE. Natives showed higher digestibility than hybrids: 7.4% in DM; 6.2% in OM; 8.3% in DNF; 13% in ADF, 6% in starch; 15.6% in N and 16% in DE. DE (Mcal/kg DM) concentration in diets with corn silage from natives was 7% higher than diets with corn silage from hybrids. Native corn cultivars provide corn silage with high digestibility of nutrients then they are a good option for corn silage production. Considering the higher yield of nutrients and energy/ha of the red native variety, it is the best sowing option to obtain forage for ensiling.

Key words: Corn silage, cattle, digestibility, maize

## 1. Introducción

En México el ensilado de maíz (*Zea mays L.*) es ampliamente utilizado en la alimentación del ganado lechero y de carne. Esta gramínea se cultiva ampliamente en muchas partes del mundo, el ensilado de planta de maíz completa (EPMC) se ha convertido en el principal componente de forraje en las dietas de los bovinos. El ensilado de planta de maíz completa (EPMC) como componente principal de la dieta de bovinos, es cada día mayor en las producciones, por lo tanto, es importante evaluar el contenido nutricional de EPMC, para poder comprender el efecto de la calidad del ensilaje de maíz en la digestión y comportamiento productivo de los animales (Khan *et al.*, 2014). Las condiciones climáticas así como las condiciones de la cosecha de variedades de híbridos, puede tener una variación en el nivel de energía contenida en los ensilajes de maíz, así como el almidón que ocupa un lugar importante en la composición de la dieta ya que provee energía microbiana además de proporcionar ácido propiónico que es el principal precursor de glucosa para síntesis de leche o carne, el llenado del rumen está influenciado por la digestión de la FDN y garantiza la buena función del rumen (Opsit *et al.*, 2013). Un problema es la falta de información del valor nutritivo o referencias sobre el ensilado de maíz con variedades de plantas nativo (Castro *et al.*, 2013). Generalmente las variedades de planta de maíz forrajero que se produce en México tiene valores energéticos bajos en comparación a los que se producen en Estados Unidos y Europa, ya que en los mejoramientos genéticos se puso mayor énfasis en el rendimiento de forraje por unidad de superficie dejando a un lado la calidad nutritiva de la planta de maíz (Ruiz *et al.*, 2006).

## 2. Materiales y métodos

Se sembraron dos tipos de maíz nativo y dos híbridos comerciales. La preparación del terreno, comenzando en el mes de abril, con rastro, barbecho, rastro, después se procedió a sembrar las cuatro variedades de maíz en 1 ha de cada genotipo con surcos de 0.8 metros entre hilera. La densidad de siembra fue de 80,000 plantas por hectárea por variedad, se realizó la cosecha de varias líneas del forraje presente en cada parcela para la cosecha y ensilaje, posteriormente se pesaron en fresco y se separaron por componentes (tallo, hoja, grano, brácteas) y se pusieron en bolsas de papel #16 para después colocarlas en una estufa marca RIOSSA modelo ECF.102.D a una temperatura de 59°C durante 72 hrs., al final de este periodo se pesó cada bolsa y con el peso fresco de la muestra y el respectivo peso seco se calculó el porcentaje de materia seca de cada muestra. El trabajo se realizó con 4 bovinos machos, asignados a un diseño cuadrado latino 4×4, para determinar la digestibilidad de nutrientes con una dieta compuesta en base seca: ensilado de maíz 55.7 y 44.3% de un suplemento, con los siguientes tratamientos: T1-maíz nativo rojo, T2-maíz nativo blanco, T3-híbrido variedad Niebla Ceres®, T4-maíz híbrido variedad Gladiador, Aspros®. Las variedades nativas son las que se han ido conservando a través del tiempo y las variedades híbridas fueron seleccionadas con respecto a su adaptación en la región. Los tratamientos utilizados, fueron cosechados a los 135 días después de la siembra manualmente y el ensilaje de maíz fue procesado con una picadora Azteca marca nacional, la elaboración de los ensilados fueron hechos con bolsas de plástico y costal con un peso promedio de 60kg, con un tamaño de partícula promedio de 5.5 cm, almacenados aproximadamente por 3 meses.

Los periodos experimentales fueron 15 d; los primeros 11 días fueron para el ajuste de la dieta en los bovinos, y los últimos 4 días fueron para la recolección de las muestras (heces) y de datos (análisis de alimento). Los toretes fueron alimentados individualmente en unidades metabólicas en la Universidad Autónoma Chapingo del Departamento de Zootecnia. Los toretes fueron alojados en

corraletas individuales de dimensiones de 2.05×2.3×1.55 m., con bebedores automáticos y comedero. Los pesos corporales se registraron al inicio del experimento (antes de entrar a la corraleta) y al final del período de recolección. Las heces se tomaron directamente del recto y después se congelaron. El ensilado de maíz, y las muestras fecales fueron tomados a través de los 4 periodos de colección para cada tratamiento de alimentación de los toretes. Se utilizó un marcador con Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que se preparó antes del experimento adicionándolo al suplemento 0.26%. Posteriormente las muestras de heces y alimento se analizaron en el Laboratorio del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica (DNAB) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Las muestras de heces y alimentos se colocaron en una estufa marca RIOSSA modelo ECF. 102.D a una temperatura de 59°C durante 72 h, al final de cada periodo se pesó muestra y con el peso fresco de la muestra y el respectivo peso seco se calculó el porcentaje de materia seca. Después de calcular el peso seco de cada muestra, se molió con molino tipo Willey en malla 1 mm (Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA).

Se analizaron las cenizas de la MS (AOAC, 2007), se analizaron los componentes de fibra en las heces FDN y FDA (Van Soest *et. al.*, 1991), determinación de almidón (modificado por Holm *et. al.*, 1986; descrita en Johnson *et. al.*, 2002a), el contenido de nitrógeno (AOAC, 2007) la energía bruta por la bomba calorimétrica marca PARR modelo A143500EB, el análisis del marcador Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fenton y Fenton, 1979). El análisis de la ración total se observa en la Cuadro 5. Los animales fueron asignados a un diseño de cuadrado latino 4×4 para evaluar el efecto de la variedad del ensilado de maíz de la planta completa sobre las características de digestión de los nutrientes.

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + T_k + E_{ijk}$$

Dónde: A<sub>i</sub> (i= 1 a 4) es el animal, P<sub>j</sub> (j=1 a 4) es el periodo, T<sub>k</sub> (k=1 a 4) es el tratamiento, y E<sub>ijk</sub> es el error residual. Los efectos de tratamientos fueron analizados PROC MIXED de SAS, y la comparación de medias mediante los siguientes contrastes: NR vs NB, HN vs HG y nativos vs híbridos.

**Cuadro 5. Ingredientes y composición química de las dietas para bovinos, con cuatro variedades de planta de ensilado de maíz**

Alimento	NR <sup>1</sup>	NB	HN	HG
	% Inclusión MS			
Ensilado de maíz	55.7	55.7	55.7	55.7
Sorgo	29.5	29.5	29.5	29.5
Grasa	0.53	0.53	0.53	0.53
Melaza	2.12	2.12	2.12	2.12
Pasta de soya	2.10	2.10	2.10	2.10
Pasta de canola	4.20	4.20	4.20	4.20
Gluten de maíz	1.55	1.55	1.55	1.55
Bicarbonato	2.10	2.10	2.10	2.10
Salvado de trigo	0.53	0.53	0.53	0.53
Sal común	0.26	0.26	0.26	0.26
Urea	0.26	0.26	0.26	0.26
Vita sal bov <sup>2</sup>	0.89	0.89	0.89	0.89
Oxido de cromo Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	0.26	0.26	0.26

Análisis químico (%)

MS	31.06	30.65	27.73	27.61
PC	10.68	10.57	10.27	10.64
EB Mcal/kg	3.85	3.84	3.74	3.88
FDN	28.93	28.59	27.25	29.49
FDA	18.40	16.93	16.65	16.65
Ca	0.70	0.73	0.69	0.70
P	0.29	0.34	0.30	0.28

<sup>1</sup>NR, Nativo Rojo; NB, Nativo Blanco; HN, Híbrido Niebla; HG, Híbrido Gladiador; N, Nativos; H, Híbrido. <sup>2</sup>vita sal bov= Calcio 25%, cloro 12%, fosforo 3%, magnesio 1.5%, potasio 0.50%, azufre 0.50%, sodio 8%, cinc 4,000mg, cobalto 30 mg, cobre 750 mg, hierro 2,300 mg, manganeso 3,000 mg, selenio 30 mg, yodo 75 mg, vitamina A 500,000 UI, vitamina D 300,000 UI, monensina 2,000 mg, antioxidante 0.05%.

### 3. Resultados y discusión

En el Cuadro 6, se muestra el rendimiento de nutrientes y energía bruta en Ton/ha de las 4 variedades de planta de maíz. Para el rendimiento de nutrientes y energía bruta existió diferencia entre nativos respecto a los híbridos comerciales ( $P < 0.001$ ).

Las variedades nativas tuvieron mayor rendimiento para todos los nutrientes PC (23%,  $P < 0.001$ ), FDN (17%,  $P < 0.001$ ), FDA (29%,  $P < 0.001$ ), almidón (16%,  $P < 0.001$ ), EB (14%,  $P < 0.001$ ), la variedad roja tuvo mayor rendimiento de nutrientes y energía bruta respecto a la otra variedad nativa blanca PC (8%,  $P = 0.03$ ), FDN (5%,  $P < 0.01$ ), FDA (11%,  $P = 0.08$ ), almidón (3.6%,  $PC = 0.16$ ), EB (4%,  $P < 0.01$ ), en cuanto a los híbridos la variedad niebla tuvo mayor rendimiento de nutrientes y energía ( $P < 0.001$ ), respecto a la variedad comercial gladiador, excepto para almidón que fue similar.

En el Cuadro 7, se muestran los valores de digestibilidad aparente total de los nutrientes. La digestibilidad fue mayor para las variedades nativas respecto a los híbridos comerciales en MS (7.4%,  $P < 0.01$ ), MO (6.2%,  $P < 0.01$ ), FDN (8.3%,  $P < 0.01$ ), FDA (13%,  $P < 0.01$ ), almidón (6%,  $P = 0.03$ ), nitrógeno (15.6%,  $P < 0.01$ ) y ED (16%,  $P < 0.01$ ).

No se encontró diferencia ( $P > 0.05$ ) entre nativos e híbridos, excepto en la digestibilidad de FAD en donde fue mayor (3.6%,  $P = 0.04$ ) para HN respecto a HG. Los valores de ED (Mcal/kg MS) de las dietas fueron mayores para las variedades nativas (7%,  $P < 0.05$ ) respecto a los híbridos comerciales, sin diferencia ( $P > 0.05$ ) entre variedades nativas e híbridos. Los rendimientos de MS de planta completa de maíz, dependen del tipo de variedades (para forraje, grano, doble propósito, Núñez *et al.*, 2003), fertilidad de suelo (Castro *et al.*, 2013). Estudios realizados por Pecina-Martínez *et al.* (2009) y Pecina *et al.* (2011), evaluando poblaciones nativas, encontraron una amplia diversidad genética en características agronómicas y la selección genética se ha centrado en rendimiento (Giaveno y Ferrero, 2003) más que valor nutritivo (Núñez, 2003).

Los valores de rendimiento de materia seca Ton/ha son similares a los encontrados por Opsi *et al.*, (2013) corresponde con lo reportado en la literatura, con una producción de 23.2 Ton MS/ha de híbrido Cisco (FAO 300) utilizado en Italia, en ese estudio también se sembró el híbrido Arma (FAO 700) con una producción de 17.1 Ton MS/ha que está por debajo (16.5%) de los encontrados con variedades nativas e híbridos en el presente estudio. Para el CDMX según el SIAP (2015) el rendimiento promedio exclusivamente de maíz forrajero es de 20.3 Ton MS/ha, que está dentro de los valores obtenidos.

**Cuadro 6. Rendimiento de nutrientes (Ton/ha) de cuatro variedades de planta de maíz**

Ton/ha	Nativos		Híbridos		EEM <sup>7</sup>	Valor de <i>P</i>		
	NR	NB	HN	HG		NR vs NB	HN vs HG	N vs H
MS <sup>1</sup>	26.26	24.7	23.43	19.52	0.001	0.0001	0.0001	0.0001
PC <sup>2</sup>	2.43	2.24	2.06	1.72	0.006	0.035	0.001	0.0001
FDN <sup>3</sup>	16.9	16.04	15.17	12.9	0.102	0.013	0.0001	0.0001
FDA <sup>4</sup>	9.7	8.7	7.8	6.45	0.179	0.08	0.007	0.0001
ALM <sup>5</sup>	3.74	3.61	3.17	3.13	0.007	0.16	0.640	0.0001
EB <sup>6</sup>	0.98	0.94	0.91	0.77	0.001	0.01	0.0001	0.0001

<sup>1</sup>Rendimiento de MS, <sup>2</sup>Rendimiento de PC, <sup>3</sup>Rendimiento FDN, <sup>4</sup>Rendimiento FDA, <sup>5</sup>Rendimiento Almidón, <sup>6</sup>Rendimiento Energía Bruta, <sup>7</sup>Error Estándar de la Media; NR, Nativo Rojo; NB, Nativo Blanco; HN, Híbrido Niebla; HG, Híbrido Gladiador; N, Nativos; H, Híbridos.

Peyrat *et al.*, (2015) compararon dos variedades de maíz híbrido (Flint y Flint-dent) a dos niveles de maduración; temprana y tardía con producciones para el primer híbrido de 17.8 y 18.5 Ton MS/ha, el segundo híbrido Flint-dent de 18 a 18.2 Ton MS/ha, lo cual es menor (30%) a lo encontrado con variedades de nativas, pero cercanos a los del HG. Castro *et al.*, (2013) realizaron en La Laguna, Matamoros, Coahuila una caracterización de híbridos forrajeros en (A-7575, C-7990, G-710 y A-7578), estas variedades tuvieron rendimientos de materia seca de 21.32, 21.13, 20.72 y 20.44 Ton MS/ha, sin encontrar diferencias ( $P > 0.05$ ) entre ellos, y los valores son menores (18%) respecto a los nativos, pero ligeramente inferiores (2.7%) a los híbridos que se utilizaron en el presente estudio.

**Cuadro 7. Digestibilidad en bovinos de cuatro variedades de planta de maíz ensiladas**

	Nativos		Híbridos		EEM <sup>1</sup>	Valor de <i>P</i>		
	NR	NB	HN	HG		NR vs NB	HN vs HG	N vs H
Toretos	4	4	4	4				
Peso vivo (kg)	489	489	489	489				
<b>Digestibilidad (%)</b>								
MS <sup>1</sup>	82.5	84.0	78.9	76.1	0.012	0.36	0.13	0.002
MO <sup>2</sup>	83.4	85.2	80.4	78.4	0.010	0.43	0.23	0.003
FDN <sup>3</sup>	77.9	79.7	72.6	72.9	0.014	0.34	0.88	0.003
FDA <sup>4</sup>	83.5	83.6	75.3	72.7	0.005	0.94	0.04	<0.001
ALM <sup>5</sup>	90.8	90.4	85.5	85.5	0.034	0.90	1.00	0.031
N <sup>6</sup>	71.3	75.0	65.5	61.0	0.037	0.23	0.14	0.002
EDMCal <sup>7</sup>	67.7	71.0	62.0	57.1	0.053	0.35	0.18	0.005
ED, Mcal/kg MS	3.31	3.41	3.18	3.1	0.002	0.24	0.32	0.005

<sup>1</sup>EEM, Error estándar de la media, <sup>1</sup>Materia seca, <sup>2</sup>Materia orgánica, <sup>3</sup>Fibra detergente neutro, <sup>4</sup>Fibra detergente acida, <sup>5</sup>Almidón, <sup>6</sup>Nitrógeno, <sup>7</sup>Energía digestible; NR, Nativo Rojo; NB, Nativo Blanco; HN, Híbrido Niebla; HG, Híbrido Gladiador; N, Nativos; H, Híbridos.

La digestibilidad es uno de los factores más importantes para evaluar la calidad nutritiva de las raciones que consumen los rumiantes, en este trabajo se determinó la digestibilidad aparente total de los nutrientes utilizando como marcador óxido de cromo.

Los valores de digestibilidad de las dietas con ensilados de planta completa de maíz (EPCM), dependen del nivel de inclusión de ensilados y calidad nutricional de estos (Johnson *et al.*, 2002b). En el presente estudio se incluyó el EPCM en 55% de la MS, las dietas con las variedades nativas presentaron mayor digestibilidad que los híbridos comerciales (83 y 77% respectivamente).

Hatew *et al.* (2015) reportaron 71.9 y 69.1 % de digestibilidad, con 28 y 32 % MS, de un híbrido de maíz variedad LG30218, en Limagrain, Países Bajos, cosechado a diferentes edades y contenidos de humedad, al alimentar vacas lecheras con una inclusión de 75% de ensilado de maíz, 5% de trigo y un 20% de concentrado. Peyrat *et al.* (2015) alimentaron vacas lecheras con ensilado de maíz *ad libitum*, encontrando valores de 68.3 y 67.5 % de digestibilidad de la MS al utilizar dos híbridos Flint y Flint-dent. En digestibilidad de FND (var. Pionner 3223), ZoBell *et al.* (2001) obtuvieron 63.2 y 65.5% de digestibilidad, con inclusiones de 55.4 % de ensilado de maíz, y 44.3 % de alfalfa heno, trigo, y suplemento, estas digestibilidades son similares a las reportadas en el presente estudio con las variedades híbridas, sin embargo, Hatew *et al.* (2015) encontraron menores valores, 55.2%. Hatew *et al.* (2015) obtuvieron digestibilidades del almidón de 98.8 y 98.5%, estos valores quedan por encima de los reportados por Ferraretto y Shaver (2014) con un promedio de 92.4%, pero similares a los de Khan *et al.* (2014) con un 97.9% de digestibilidad del almidón en una recopilación bibliográfica sobre características de los ensilados de maíz al alimentar vacas lecheras. La investigación realizada por Peyrat *et al.* (2015) muestra digestibilidades de almidón de 99.3 y 99.7% al alimentar vacas lecheras *ad libitum*, valores por encima de los que se encontraron al comparar híbridos contra nativos en esta investigación. La digestibilidad del nitrógeno estuvo acorde a los valores reportados por Hatew *et al.* (2015) con valores que van de los 66.8 a 70.7 % de digestibilidad, en otra investigación de Khan *et al.* (2014) reportaron una digestibilidad de la proteína cruda mayor de un híbrido de maíz con 82.6%. Valores publicados por Johnson *et al.* (2002b), de 63.7, 65.7 EDMcal, así como una EDMcal/kg MS de 3.06 y 3.08, utilizando un 60% de ensilado de maíz y 40% de heno de alfalfa en vacas lecheras estos valores son similares con los encontrados en el presente estudio. Sin embargo, los valores de digestibilidad dependerán del tipo y nivel de inclusión de EPCM (ZoBell *et al.*, 2001), tipo de ingredientes y nivel de inclusión en la dieta (Johnson *et al.*, 2002b).

#### **4. Conclusiones**

Las variedades nativas de planta de maíz mostraron un mayor rendimiento de nutrientes y energía, así como de digestibilidad respecto a los híbridos, el nativo rojo mostró mayor rendimiento respecto al blanco, aunque tuvieron similar digestibilidad pero mayor contenido de nutrientes, ya que son EPCM que se han adaptado muy bien a las condiciones de la región a través los años, por lo tanto es recomendable su siembra y utilización en la zona donde se realizó el estudio, para la elaboración de dietas con ensilado de maíz en la alimentación de bovinos.

## 5. Referencias

- AOAC., 2007. Official Methods of Analysis 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Castro, N., S, Lopéz, S., J. A., Mendoza, C. M. C., Reyes, M. C. A. 2013. Exploring native corn germplasm in central and southern Tamaulipas, Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* vol.4 (4): pp. 645-653.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization), © FAO Statistics Division 2010.
- Fenton, T. W. y Fenton, M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59:631-634.
- Ferraretto, L. F. y Shaver, R. L., 2014. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestión, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 98: 2662-2675.
- Giaveno, C. y Ferrero, J., 2003. Introduction of tropical maize genotypes to increase silage production in the central area of Santa Fe, Argentina. *Crop Breeding and Applied Biotechnology.* v.3, n.2 p. 89-94.
- Hatew, B., Bannik, A., Laar, H. V., Jonge, L. H., Dijkstra, J. 2015. Increasing harvest maturity of whole-plant corn silage reduce methane emission of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:354-368.
- Johnson, L., M., Harrison, J. H., Davidson D., Swift, M., Mahanna W. C., Shinnors, K. 2002b. Corn silage management II: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on digestion and energy content. *J. Dairy Sci.* 85:2913–2927.
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., Hendriks, W. H. 2004. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *J. Sci. Food Agric.* 95:238-252.
- Nuñez, H., G., Eduardo, F., Contreras, G., Faz C., R. 2003. Importan agronomic and chemical characteristics in high energy hybrid forage corn. *Tec. Pec. Méx.* 41(1): 37-48.
- Opsi, F., Borreani, G., Tabacco, E., Lopez, S. 2013. Influence of cultivar, sowing date and maturity at harvest on yield, digestibility, rumen fermentation kinetics and estimated feeding value of maize silage. *J. Agric. Sci.* 151:740–753.
- Pecina. M. J. A., Mendoza, C. M. C., López, S. J. A., Castillo, G. F., Mendoza, R. M. and Ortíz, C. J. 2011. Grain yield and yield components of native maize populations from Tamaulipas state evaluated under contrasting environments. *Rev. Fitotec. Mex.* 34(2):85-92.
- Peyrat, J., Baumont, R., Morvan, A. L., Noziere, P., 2015. Effect of maturity and hybrid on ruminal and intestinal digestión of corn silage in dry cows. *J. Dairy Sci.* 99: 258-268.
- Ruiz, R. O., Salvador, H. F., Rubio, A. H., Castillo, G. Y. 2006. Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. *Rev. Cubana de Ciencias Agrícolas.* Vol. 40, núm. 1. pp. 91-96.

Van Soest, P. J., Robertson, J.B., Lewis, B. A. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and nonpolysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.

ZoBell, D. R., Olson, K. C., Wiedmeier, R. D., Sass, D., Shinnars, K. J., McAllister, T. A. 2001. Effects of processed corn silage on its digestibility and production of growing beef replacement heifers. *Animal Feed Sci. And Technology.* 96: 221-228.

## **CONCLUSIÓN GENERAL**

El rendimiento y calidad del forraje de maíz dependen de la variedad de maíz utilizada, en esta investigación las variedades nativas tuvieron mayores rendimientos de MS, y la variedad roja mayor contenido de PC. La topología de siembra la doble hilera mostró mayores rendimientos solamente en hoja por lo tanto la siembra en este arreglo se puede utilizar en la producción de maíz, siempre y cuando se tenga la maquinaria para las labores de siembra y cosecha.

Para el rendimiento de nutrientes por hectárea las variedades nativas de planta de maíz mostraron un mayor rendimiento de nutrientes y energía, así como de digestibilidad respecto a los híbridos, el nativo rojo mostró mayor rendimiento respecto al blanco, por lo tanto, es recomendable su utilización para la elaboración de dietas con ensilado de maíz en la alimentación de bovinos, en la zona donde se realizó el estudio.

## REFERENCIAS

- Acosta, D. E., Zavala, G. F., Valdez, G. J., Hernández, T. I., Amador, R. M., Padilla, R. J. S. 2014. Explotación de germoplasma nativo de maíz en Nuevo León, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* Núm. 8. 1477-1485.
- Andrae, J. G., Hunt, C.W., Pritchard, G.T., Kennington, L.R., Harrison, J.H., Kezar, W., Mahanna, W. 1999. Effect of hybrid, maturity, and processing on ruminal degradability of corn plants. *J. Anim. Sci.* 77(1):211.
- AOAC., 2007. Official Methods of Analysis 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Castro, N., S, López, S., J. A., Mendoza, C. M. C., Reyes, M. C. A. 2013. Exploring native corn germplasm in central and southern Tamaulipas, Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* vol.4 (4): pp. 645-653.
- Church, D. C., Pond, W. G. 1990. Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales. México: Noriega Limusa.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Proyecto global de maíces nativos: Bases de datos maíces nativos. Disponible en: Biodiversidad Mexicana. <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas2012.html>
- Cusicanqui, J. A., Lauer, J. G. 1990. Plant density and hybrid Influence on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal.* 91:911-915.
- Dirzo, R. 1999. La biodiversidad como crisis ecológica actual ¿que sabemos? *Evolucion Biologica.* Facultad de Ciencias e Instituto de Ecología UNAM y CONABIO, Mexico, DF p 399-412.
- Elizondo, J. y Boschini, C. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana.* 13(1): 13-17.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization), © FAO Statistics Division 2010.
- Fenton, T. W. y Fenton, M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59:631-634.
- Fernández, S., R. Morales, C., L., A. Gálvez, M., A. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3): 275-283.
- Ferraretto, L. F. y Shaver, R. L., 2014. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestión, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 98: 2662-2675.
- Ferreira, G., Alfonso, M., Delpino, S., Alessandri, E. 2014. Effect of planting density on nutritional quality of green-chopped corn for silage. *J. Dairy Sci.* 97:5918-5921.
- Giaveno, C. y Ferrero, J., 2003. Introduction of tropical maize genotypes to increase silage production in the central area of Santa Fe, Argentina. *Crop Breeding and Applied Biotechnology.* v.3, n.2 p. 89-94.

- Goodman M. M. and W.L. Brown. 1988. Races of corn. En: G.F. Sprague y J.W. Dubley (eds): Corn and Corn Improvement. Agronomy Monograph N° 18, 3rd Edition. ASA. Madison, Wisconsin.
- Gozubenli, H., Kilink, M., Sener, O., Konuscan, O. 2004. Effects of single and twin row planting on yield and yield components in maize. *Asian J. Plant Sci.* 3(2):203-206.
- Hatew, B., Bannik, A., Laar, H. V., Jonge, L. H., Dijkstra, J. 2015. Increasing harvest maturity of whole-plant corn silage reduce methane emission of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:354-368.
- Jain, S. K. 2000. Human aspects of plant diversity. *Economic Botany* 54(4): 459-470
- Johnson, L. M., Harrison, J. H., Davidson D., Swift, M., Mahanna W. C., Shinnors, K. 2002a. Corn silage management I: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. *J. Dairy Sci.* 85:833–853.
- Johnson, L., M., Harrison, J. H., Davidson D., Swift, M., Mahanna W. C., Shinnors, K. 2002b. Corn silage management II: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on digestion and energy content. *J. Dairy Sci.* 85:2913–2927.
- Jung, H., G., Samac, D. A., Sarath, G. 2012. Modifying crops to increase cell wall digestibility. *Plant Sci.* 185–186:65–77.
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., Hendriks, W. H. 2004. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *J. Sci. Food Agric.* 95:238-252.
- Nuñez, H., G., Eduardo, F., Contreras, G., Faz C., R. 2003. Importan agronomic and chemical characteristics in high energy hybrid forage corn. *Tec. Pec. Méx.* 41(1): 37-48.
- Opsi, F., Borreani, G., Tabacco, E., Lopez, S. 2013. Influence of cultivar, sowing date and maturity at harvest on yield, digestibility, rumen fermentation kinetics and estimated feeding value of maize silage. *J. Agric. Sci.* 151:740–753.
- Pagano, R. R. 2006. Estadística para las ciencias del comportamiento. 7ª Edición. Thomson Learning, México, D.F.
- Pecina. M., J. A., Mendoza, C. M. C., López, S. J. A., Castillo G. F. y Mendoza, R. M. 2011. Phenological and morphological response of Tamaulipas maize to contrasting environments in México. *Agrociencia* 43:681-694.
- Pecina. M. J. A., Mendoza, C. M. C., López, S. J. A., Castillo, G. F., Mendoza, R. M. and Ortíz, C. J. 2011. Grain yield and yield components of native maize populations from Tamaulipas state evaluated under contrasting environments. *Rev. Fitotec. Mex.* 34(2):85-92.
- Peyrat, J., Baumont, R., Morvan, A. L., Noziere, P., 2015. Effect of maturity and hybrid on ruminal and intestinal digestion of corn silage in dry cows. *J. Dairy Sci.* 99: 258-268.
- Reta, S. D. G., Gaytan, M. A., Carrillo, A. J. S., 2003. Yield and yield components of maize in response to planting patterns. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2): 75-80.

Reyes, C. P., 2000. Cincuenta años de investigación agrícola de maíz para tierra caliente en México. *Agricultura Técnica en México.*, Vol 26 (1): pp. 49-62.

Rice, E. B., Smith, M. E., Mitchell, S. E., Kresovich, S. 2006. Conservation and change: a comparison of *In Situ* and *Ex Situ* conservation of Jala maize germplasm. *Crop Sci.* 46:428-436.

Ruiz, R. O., Salvador, H. F., Rubio, A. H., Castillo, G. Y. 2006. Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. *Rev. Cubana de Ciencias Agrícolas.* Vol. 40, núm. 1. pp. 91-96.

Schneider, B. H., Flatt, W. P. 1995. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia press, Athens.

Toledo, J. 1982. Manual para la evaluación agronómica. CIAT. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales RIEPT. Calí.

Thoney, M. L., B. A. Palhof, M. R. DeCarlo, N. L. Firth, R. L. Quaas, D. J. Perosio, D. J. Duhaime, S. R. Rollins, Nour, A. Y. M. 1985. Sources of variation of dry matter digestibility measured by the acid insoluble ash marker. *J. Anim. Sci.* 68:661-668.

Turrent, F. A., Wise, T. A., Garvey, E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mex. Rural Develop. Res. Rep.* 24:1-36.

Van Soest, P. J., Robertson, J.B., Lewis, B. A. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and nonpolysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.

Valentinuz, O. D. I., Orio, C.L., Cabada, S. 2007. Velocidad de siembra y desuniformidad espacial en dos híbridos de maíz. *Actualización Técnica en Maíz, Girasol y Sorgo.* INTA EEA Paraná. Serie Extensión 44:38-42.

ZoBell, D. R., Olson, K. C., Wiedmeier, R. D., Sass, D., Shinnors, K. J., McAllister, T. A. 2001. Effects of processed corn silage on its digestibility and production of growing beef replacement heifers. *Animal Feed Sci. and Technology.* 96: 221-228.